

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**

UNIDAD DE POSGRADO

**Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas
para definir la cimentación de estructuras de líneas de
transmisión eléctrica**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Geotecnia

AUTOR

Epifanio Donato SUYO RIVERA

ASESOR

Victor Abel TOLENTINO YPARRAGIRRE

Lima – Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y
GEOGRÁFICA**



UNIDAD DE POSGRADO

«Año del buen servicio al ciudadano»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los seis días del mes de marzo del 2017, siendo las 17.30 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 081/UPG-FIGMMG/2017 del 24 de enero del 2017, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«MODELO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS PARA DEFINIR LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA»

Que, presenta el Bach. **EPIFANIO DONATO SUYO RIVERA**, para optar el **GRADO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente 04790-FIGMMG-2012 del 26 de junio del 2012, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas de la Directiva para el procedimiento de la elaboración de la tesis para la obtención del Grado de Magister o Doctor (Aprobado por Resolución Directoral 080.EPG.2010).

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Bueno (15)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA** al Bach. **EPIFANIO DONATO SUYO RIVERA**.

Siendo las 18.30 horas, se dio por concluido al acto académico.

DR. NESTOR ITALO ZACON ABAD
Presidente

DR. TOMAS EZEQUIEL GALLARDAY BOCANEGRA
Secretario

MG. JORGE ESCALANTE CONTRERAS
Miembro

MG. ENRIQUE GUADALUPE GOMEZ
Miembro

MG. VICTOR ABEL TOLENTINO YPARRAGUIRRE
Asesor



DEDICATORIA

*Dedico con mucho cariño mi
Tesis a mi Esposa Elena y a mis
hijos Erik y Christian*

MODELO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS PARA DEFINIR LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Índice

pag. N°

Resumen

Summary

| | | |
|---------------------|---------------------------------------------|-----------|
| CAPITULO 1.0 | INTRODUCCIÓN..... | 21 |
| 1.1 | Planteamiento del Problema | 21 |
| 1.1.1 | Situación Problemática | |
| 1.1.2 | Formulación del Problema | |
| 1.1.3 | Justificación de la Investigación | |
| 1.1.4 | Objetivos de la Investigación | |
| 1.2 | Marco Teórico..... | 25 |
| 1.2.1 | Antecedentes del Problema | |
| 1.2.2 | Bases Teóricas | |
| 1.2.3 | Marcos Conceptuales o Glosario | |
| 1.3 | Hipótesis y Variables..... | 29 |
| 1.3.1 | Hipótesis General | |
| 1.3.2 | Hipótesis Específicas | |
| 1.3.3 | Identificación de las Variables | |
| 1.3.4 | Operacionalización de Variables | |
| 1.3.5 | Matriz de Consistencia | |
| 1.4 | Metodología..... | 34 |
| 1.4.1 | Tipo y Diseño de la Investigación | |
| 1.4.2 | Unidad de Análisis | |
| 1.4.3 | Población de Estudio | |
| 1.4.4 | Tamaño de Muestra | |
| 1.4.5 | Selección de Muestra | |
| 1.4.6 | Técnicas de Recolección de datos | |
| 1.4.7 | Análisis e interpretación de la información | |

CAPÍTULO 2.0 METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOLOGICAS..... 37

2.1 Investigaciones de Gabinete..... 37

2.1.1 Estudio de información geológica publicada

2.1.2 Investigaciones en Fotogeología Aplicada y Sensores Remotos

2.1.2.1 Investigaciones en Fotogeología Aplicada hechas

A) Importancia

B) De las fotos aéreas y el estereoscopio

C) Sistemática de la Fotogeología Aplicada

a) Interpretación del drenaje

b) Interpretación geomorfológica

c) Interpretación geo-estructural

d) Interpretación de tipos de rocas y suelos

2.1.2.2 Imágenes de Sensores Remotos estudiadas

A) Imágenes de radar aéreo SLAR

B) Imágenes del satélite LANDSAT

2.1.3 Investigaciones de Riesgo Sísmico estudiadas

2.1.3.1 Mapas de Regionalización Sísmica estudiadas

A) Mapa de Regionalización Sísmica del Perú mediante Intensidades por J. Chávez y D. Huaco del Instituto Geofísico del Perú, 1975

B) Mapa de Zonificación Sísmica del Perú del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006

2.1.3.2 Fuentes Sismogénicas y Tipos de Sismos en el Perú estudiadas

A) Sismos Intraplaca Oceánica

B) Sismos Interplaca

C) Sismos Corticales de la Placa Continental

D) Sismos Intraplaca Sub-continental de profundidad intermedia y profunda

2.1.3.3 Estudio de Riesgo Sísmico de localidades estudiadas

2.1.3.4 Cálculos hechos de las fuerzas sísmicas horizontales cortantes para una estructura

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2 Investigaciones de Campo..... | 57 |
| 2.2.1 Mapeo Geológico del Trazo de la Línea de Transmisión hechos: | |
| 2.2.1.1 Mapeo de Tramos en Roca | |
| A) Mapeo de tramos en roca estratificada | |
| B) Mapeo de tramos en roca masiva | |
| 2.2.1.2 Mapeo de tramos en depósitos cuaternarios o suelos | |
| 2.2.1.3 Mapeo de localidades con problemas de Geodinámica Externa | |
| A) De Inestabilidad de laderas | |
| B) De Inestabilidad del drenaje fluvial | |
| 2.2.2 Ubicación tentativa de calicatas para estudios de Mecánica de Suelos | |
| 2.3 Investigaciones de Laboratorio..... | 61 |
| 2.4 Trabajos de Gabinete después del trabajo de campo..... | 61 |
| 2.4.1 Plano y perfil geológicos | |
| 2.4.2 Texto del Capítulo de Geología | |
| 2.4.3 Información sobre el plano geológico y el plano geotécnico | |
| 2.5 Los Parámetros Geológicos en la Definición de la Cimentación de las Estructuras de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica...62 | |
| 2.5.1 Relación de Parámetros Geológicos útiles en la Definición de la Cimentación de las Estructuras de Líneas de Transmisión | |
| 2.5.2 Obtención de los Parámetros Geológicos útiles en la Definición de la Cimentación de las Estructuras de Líneas de Transmisión. | |

CAPITULO 3.0 METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS 65

3.1 Introducción

- 3.1.1 Características Geotécnicas Generales de los Suelos
- 3.1.2 Características Geotécnicas Generales de las Rocas
- 3.1.3 Naturaleza de la cimentación
- 3.1.4 Clases de Cimentación
- 3.1.5 Elementos de la Línea de Transmisión
- 3.1.6 Tipos de Postes y Torres para la Línea de Transmisión
- 3.1.7 Los cables de viento o retenidas

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2 Investigaciones de Campo y de Laboratorio..... | 79 |
| 3.2.1 Investigaciones de Campo | |
| A. En Suelos | |
| a. Calicatas, su descripción estratigráfica y SUCS | |
| b. Muestreo de suelos inalterados y disturbados | |
| c. Ensayos de Suelos “in situ”: | |
| . SPT (Standard Penetration Test) | |
| . Densidad Natural con el método del cono de arena | |
| B. En Rocas | |
| a. Mapeo de Geología Estructural Ingenieril de la Línea | |
| b. Representación gráfica de Geología Estructural en Ingeniería Geológica de la Línea | |
| c. Evaluación Geomecánica de los afloramientos rocosos en el trazo de la línea utilizando el método RMR de Bieniawski | |
| C. En Canteras | |
| a. Exploración y Mapeo de suelos como canteras | |
| b. Exploración y Mapeo de rocas como canteras | |
| 3.2.2 Investigaciones de Laboratorio | |
| A. Laboratorio de Mecánica de Suelos | |
| a. Análisis de suelos para cimentaciones | |
| b. Análisis de suelos para canteras de agregados de Concreto | |
| B. Laboratorio Químico.-Análisis químico de sales agresivas al concreto y al acero | |
| C. Laboratorio de Mecánica de Rocas.-Resistencia a la compresión simple | |
| 3.3 Descripción del Perfil Estratigráfico de suelos de la Línea..... | 114 |
| 3.4 Zonificación Geotécnica del trazo de una línea proyectada..... | 114 |
| 3.4.1 Modo de descripción de las zonas geotécnicas de una línea | |
| A) Descripción Simple de las zonas geotécnicas de una línea | |
| B) Descripción Detallada de las zonas Geotécnicas de una línea | |
| a) Descripción de una zona con suelo | |
| b) Descripción de una zona con roca | |
| 3.4.2 Explicación del Angulo de Arrancamiento | |

3.4.3 Presentación de la Zonificación Geotécnica del trazo de una línea proyectada

- A) Presentación textual
- B) Presentación grafica en el plano geotécnico

3.5 Calculo de la Capacidad Portante Admisible de las Zonas de la Línea de Transmisión.....123

3.5.1 Introducción

- A. Concepto general sobre fallamiento del suelo.
- B. Nociones sobre las teorías de capacidad portante de Terzaghi, Meyerhof y Vesic según Braja M.Das.
- C. Capacidad portante en casos especiales

3.5.2 Métodos de cálculo de la capacidad portante en la zonas con suelos de la Línea

- A. Cálculo con el método de cono de arena (campo) y corte directo (laboratorio)
- B. Cálculo con el método SPT (Standard Penetration Test)

3.5.3 Métodos de cálculo de la capacidad portante de las zonas con roca de la Línea

- A. Método simple
- B. Método detallado

3.6 Sobre la Consolidación y el Asentamiento de los Suelos..... 136

3.6.1 Sobre la Consolidación

- A. Suelos normalmente consolidados y sobre consolidados
- B. Factores complementarios que influyen en la estructura y comportamiento del suelo
- C. El ensayo edométrico

3.6.2 Sobre los asentamientos

- A. Causa de los Asentamientos
- B. Asentamientos diferenciales

3.7 Sobre la cimentación en los principales tipos de suelos..... 145

3.7.1 Factores que determinan el tipo de cimentación

3.7.2 Características generales de los diversos tipos de suelos

- A. Introducción

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B. Tabla sobre las características generales de los suelos gruesos | |
| C. Tabla sobre las características generales de los suelos finos | |
| 3.7.3 La cimentación en arcillas y limos plásticos | |
| 3.7.4 La cimentación en arenas y limos no plásticos | |
| 3.7.5 La cimentación en suelos heterogéneos | |
| 3.8 Cimentación en suelos difíciles y tratamiento..... | 159 |
| 3.8.1 Ataque químico por suelos y aguas subterráneas | |
| 3.8.2 Suelos colapsables | |
| 3.8.3 Suelos expansivos | |
| 3.8.4 Licuación de suelos | |
| 3.9 Cimentación sobre taludes..... | 162 |
| 3.9.1 Introducción | |
| 3.9.2 Efectos del talud sobre la cimentación | |
| 3.9.3 Efectos de la cimentación sobre la estabilidad del talud | |
| 3.9.4 Capacidad de soporte de las cimentaciones sobre taludes | |
| 3.9.5 Aplicación del Método Mononobe-Okabe en la Cimentación de Torres y Postes en taludes para líneas de transmisión | |

CAPITULO 4.0 EL MODELO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS PARA LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA Y APLICACIÓN DEL MODELO EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN ENTRE HUANCARAMA CHIPMO Y PORACOTA EN AREQUIPA 165

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1 Introducción..... | 165 |
| 4.2 Dificultades..... | 166 |
| 4.3 Características Básicas para un modelo general | 167 |
| 4.4 Aplicación del modelo: Geología y Geotecnia de la Línea de Transmisión 66 kV S.E. Huancarama-SE- Chipmo – SE Poracota, Orcopampa, Arequipa..... | 169 |
| 4.4.1 Objetivos..... | 169 |
| 4.4.2 Ubicación..... | 169 |
| 4.4.3 Fuentes de Información | 169 |
| 4.4.4 Geología del Proyecto..... | 170 |

4.4.4.1 Condiciones Regionales

A. Estudios de Gabinete

- a. Estudio Fotogeológico
- b. Evaluación del riesgo sísmico

B. Estudios de campo

- a. Estratigrafía
- b. Geología Estructural
- c. Rasgos Geomorfológicos
- d. Problemas de Geodinámica Externa

4.4.4.2 Condiciones de Geología Local Superficial del Trazo

A. Línea de Transmisión S.E. Huancarama S.E. Chipmo-S.E. Poracota

B. Sub-estaciones

- a) S.E. Chipmo
- b) S.E. Poracota

C. Sobre el plano y perfil geológico del

4.4.5 Geotecnia del Proyecto..... 179

4.4.5.1 Estudio Geotécnico local del proyecto

A. Descripción Geotécnica local de la línea

B. Descripción Geotécnica local de las sub-estaciones

- a) S.E. Chipmo
- b) S.E. Poracota

C. Investigaciones de Mecánica de Suelos

4.4.5.2 Estudio de Zonificación Geotécnica local del trazo del proyecto

A. Introducción

B. Zonificación geotécnica del proyecto

C. Sobre la zonificación geotécnica del proyecto en el plano geotécnico

4.4.6 Sobre las Conclusiones y Recomendaciones de este ejemplo del modelo..... 193

4.4.7 Anexos de este ejemplo de modelo 195

| | |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| CAPITULO 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TESIS..... | 195 |
|---------------------------------------------------------------------|------------|

| | |
|------------------------------|------------|
| 5.1 Conclusiones..... | 195 |
|------------------------------|------------|

| | |
|---------------------------------|------------|
| 5.2 Recomendaciones..... | 197 |
|---------------------------------|------------|

| | |
|--------------------------|------------|
| BIBLIOGRAFIA..... | 199 |
|--------------------------|------------|

| | |
|--------------------|------------|
| ANEXOS..... | 204 |
|--------------------|------------|

Anexo A: Relación de ilustraciones del Capítulo 2: Metodología para las Investigaciones Geológicas.

Anexo B: Relación de ilustraciones y cuadros del Capítulo 3: Metodología para las Investigaciones Geotécnicas

Anexo C: Relación de Anexos del Sub capítulo 4.4: “Geología Y Geotecnia de La Línea de Transmisión 66 Kv S.E. Huancarama-S.E. Chipmo-S.E. Poracota, Orcopampa, Arequipa”

Sub-Anexo C1: Álbum de Fotografías

Sub-Anexo C2: Perfiles de calicatas

Sub-Anexo C3: Resultados de Laboratorios

Sub-Anexo C4: Plano Geológico del trazo del proyecto

Sub-Anexo C5: Perfil Geológico del trazo del proyecto

Sub-Anexo C6: Plano Geotécnico del trazo del proyecto

ANEXOS

ANEXO A: RELACION DE ILUSTRACIONES DEL CAPITULO 2: METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

| Número | Nombre | Página |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Estereoscopio de Espejos | 39 |
| 2 | Patrones de drenaje fluvial | 42 |
| 3 | Geometría del Sistema SLAR | 44 |
| 4 | Levantamiento SLAR del Perú | 45 |
| 5 | Mapa de Regionalización Sísmica por Intensidades del Perú por el Instituto Geofísico del Perú, 1975 | 49 |
| 6 | Mapa de Regionalización Sísmica del Perú del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, 2006 | 52 |
| 7 | Subducción, Fuentes Sismogénicas y Tipos de Sismos en El Perú | 53 |
| 8 | Mapa con curvas de iso-aceleraciones para un proyecto de línea de transmisión | 56 |
| 9 | Problemas de estabilidad de laderas | 60 |
| 10 | Receptor GPS de tipo manual | 61 |

**ANEXO B: RELACION DE ILUSTRACIONES Y CUADROS DEL CAPITULO 3:
METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

RELACION DE ILUSTRACIONES

| Número Página | Nombre | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 11 | Cimentaciones monolíticas | 69 |
| 12 | Cimentación con enrejado metálico | 70 |
| 13 | Cimentación en roca | 71 |
| 14 | Cimentación con pilote | 72 |
| 15 | Torres y postes de líneas de transmisión | 77 |
| 16 | Simbología SUCS de suelos | 81 |
| 17 | Perfiles de calicatas | 82 |
| 18 | Procedimiento de obtención de muestras cúbicas de suelos | 83 |
| 19 | Ensayo de Penetración Standard (SPT) | 84 |
| 20 | Aparato de cono de arena | 87 |
| 21 | Roseta de diaclasas | 89 |
| 22 | Representación estereográfica | 91 |
| 23 | Representación de 351 polos | 91 |
| 24 | Configuración de las concentraciones de polos de la ilustración 23 | 91 |
| 25 | Registro de pozos de prueba (calicatas) | 101 |
| 26 | Representación gráfica de análisis granulométrico | 103 |
| 27 | Representación gráfica de corte directo | 107 |
| 28 | Zonificación geotécnica | 118 |

| | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 29 | Angulo de arrancamiento | 121 |
| 30 | Espesores de conos de roca | 122 |
| 31 | Falla de corte general | 124 |
| 32 | Falla por corte local | 125 |
| 33 | Falla de corte por punzonamiento | 126 |
| 34 | Teoría de Terzaghi | 127 |
| 35 | Trabajo “in situ” con el cono de arena | 131 |
| 36 | Gráfico de Terzaghi para calcular los factores de carga | 132 |
| 37 | Compresión noval, rama de descarga y rama de recarga en la Consolidación de los suelos | 137 |
| 38 | La célula edométrica | 139 |
| 39 | Representaciones de un ensayo edométrico | 140 |
| 40 | Curva de campo en suelos normalmente consolidados | 141 |
| 41 | Curva de campo en suelos preconsolidados | 141 |
| 42 | Estimación de tiempo de consolidación | 143 |
| 43 | Zapatas de arcilla | 152 |
| 44 | Prueba de carga en arcilla fisurada | 153 |

RELACION DE CUADROS

| Número | Nombre | |
|--------|-----------------------------------------------------------------|--------|
| | | Página |
| 1 | Interpretación del Ensayo de Penetración en suelos cohesivos | 85 |
| 2 | Interpretación del Ensayo de Penetración en suelos no cohesivos | 85 |
| 3 | Clasificación Geomecánica de Bieniawski, 1979 | 96 |
| 4 | Análisis granulométrico | 102 |

| | | |
|----|---------------------------------------------------------------|-----|
| 5 | Límites de consistencia | 104 |
| 6 | Contenido de humedad | 105 |
| 7 | Densidad natural | 106 |
| 8 | Valores de corte directo | 107 |
| 9 | Peso volumétrico de la grava de muestra de calicata | 109 |
| 10 | Parámetros físicos de muestra de calicata | 110 |
| 11 | Máximas y mínimas de densidad | 111 |
| 12 | Peso específico de sólidos | 112 |
| 13 | Cemento recomendable según ataque de sulfatos al concreto | 113 |
| 14 | Zonificación geotécnica | 116 |
| 15 | Interpretación del ensayo de penetración | 133 |
| 16 | Correlación entre SPT Y el ángulo phi en suelos granulares | 134 |
| 17 | Cálculo de presión sobre suelos a base de SPT y el ángulo phi | 134 |
| 18 | Presiones permisibles sobre roca | 135 |
| 19 | Causas de los asentamientos | 145 |
| 20 | Causas de los asentamientos diferenciales | 146 |
| 21 | Características generales de los suelos gruesos | 149 |
| 22 | Características generales de los suelos finos | 150 |
| 23 | Máximos valores químicos de suelos tolerables en el Perú | 160 |

RESUMEN

La búsqueda de un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica ha permitido determinar que es una condición básica e imprescindible que se realicen investigaciones geológicas y geotécnicas sin prescindirse o disminuir las investigaciones geológicas tal como se exponen en el capítulo 1.

Con este afán de investigar el modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas se han desarrollado los capítulos 2.0 Metodología de las Investigaciones Geológicas y 3.0 Metodología de las Investigaciones Geotécnicas.

En el capítulo 4.0 se trató en forma específica de un modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de las estructuras de líneas de transmisión.

El capítulo 2 comprende las principales investigaciones de Geología Aplicada y que en síntesis son las siguientes:

Investigaciones de Gabinete.- En Fotogeología y Sensores Remotos con énfasis en SLAR (Side Looking Airborne Radar) e Investigaciones de Riesgo Sísmico como se han hecho.

Investigaciones de Campo.- Mapeo geológico del trazo hecho diferenciando los tramos en roca y en suelos. Mapeo hecho de los tramos con problemas geológicos como son los deslizamientos, flujos de barro, aluviones y fallas geológicas activas.

Investigaciones de Laboratorio.- Identificación hecha de muestras de rocas en el laboratorio mediante microscopía petrográfica.

Investigaciones en Gabinetes después de Campo.- Se ha hecho la preparación del plano y perfil geológico del trazo de la línea.

El capítulo 3 trata de las principales investigaciones geotécnicas y que en síntesis son las siguientes:

Investigaciones de Campo hechas.- En los tramos con suelos del trazo con suelos se ha efectuado calicatas, ensayos “in situ”, descripción estratigráfica y muestreos. En los tramos del trazo con roca se ha hecho un mapeo de Geología Estructural Ingenieril, su representación gráfica y una evaluación Geomecánica de algunas estaciones aplicando el método de Bieniawski o RMR. También han hecho Investigaciones de canteras.

Investigaciones de Laboratorio.- Se han hecho Análisis de suelos para cimentaciones y canteras en el Laboratorio de Mecánica de Suelos. También Análisis de resistencia a la compresión simple de muestras de rocas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas. También Análisis químico de muestras de suelos para investigar su agresividad al concreto.

Investigaciones de Gabinete después del Campo.- Se ha hecho la descripción detallada de la estratigrafía y granulometría de todas las calicatas en suelos. También Zonificación geotécnica de todo el trazo. También Cálculo de la capacidad portante permisible en suelos y rocas. También Preparación del plano geotécnico del trazo en donde debe figurar la zonificación geotécnica.

El capítulo 4 he tratado sobre un modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de las estructuras de cualquier línea de transmisión. En primer lugar se exponen las dificultades que ha existido para tener un modelo general. Luego se ha presentado un intento de modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas.

Se ha presentado un ejemplo de estudio geológico y geotécnico de la Línea de Transmisión hecho por el suscrito: “Geología y Geotecnia de la Linea de Transmisión 66 kV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo- S.E. Poracota,

Orcopampa, Arequipa, 2005". Este proyecto ya ejecutado, se encuentra actualmente estable. Al final de la tesis en el anexo C se ha presentado sus planos geológicos y geotécnicos, álbum de fotografías y resultados de laboratorios.

Al final del capítulo 5, también se ha adjuntado una bibliografía geológica y geotécnica lo más actualizada posible.

SUMMARY

The search for a model of geological and geotechnical investigations to define the foundation of electric power line structures had permitted to know that is a basic and necessary condition to carry out geological and geotechnical investigations without avoid or diminution of geological research as says chapter 1.

With this hurry for investigate the model we have: chapter 2.0 Methodology of Geological Research an chapter 3.0 Methodology of Geotechnical Research.

The chapter 4.0 treated specifically a general model for geological and geotechnical investigations for to define the foundations of electric power line structures.

Chapter 2 includes the main research in Applied Geology and synthesis are the following:

Cabinet Researchs.- Photogeology and Remote Sensing with emphasis SLAR (Side Looking Airborne Radar) and Seismic Risk Investigations as we did.

Field Researchs.- Geological mapping of the line differentiating rock and soil tracts. Detailed mapping did of the line with geological problems such as landslides, mudflows, alluvions and active geological faults.

Laboratory Researchs.- Identification of difficult rock samples did with petrographic microscopy.

Cabinet Research after Field.- We had did the preparation of geological plane and profile of the trace line.

Chapter 3 discusses the main Geotechnical Investigations and synthesis are the following:

Field Researchs Did.- To excavate test pits on the soil tracts, “in situ” tests, stratigraphic descriptions and sampling. On the rock tracts we did Structural Geology Engineering Mapping and Geomechanical Assessment of the line with stations using the Bieniawski Method or RMR. Also we did quarries researchs

Laboratories Researchs.- We did Analysis of soil for foundations and quarries in the Laboratory of Soil Mechanics also. Analysis of compressive strength of rock samples in the Laboratory of Rock Mechanics. Also Chemical analysis of soil samples to investigate their aggressiveness to concrete.

Cabinet Researchs after Field.- We did detailed description of the stratigraphy and grain size of all soil pits. Also Geotechnical Zonification of the entire line. Also we did calculation of allowable bearing capacity in soils and rocks. Also we did Preparation of Geotechnical Plane where will be Geotechnical Zonification.

Chapter 4 Had treated a General Model of Geological and Geotechnical Investigations to define the foundation of structures of any transmission line. First we describe the difficulties that exist for a General Model. Then we present a General Model Attempt.

I was presented an example of geological and geotechnical study of a transmission line: “Geología y Geotécnia de la Linea de Transmisión 66 kV S.E. Huancarama-S.E.Chipmo-S.E.Poracota, Orcopampa, Arequipa, 2005”. This project already built is now stable. At the end of the thesis in Annex C was presented its geological and geotechnical maps, photos album and lab results.

At the end of the chapter 5, is attached a geological and geotechnical bibliography as current as possible.

CAPITULO 1.0 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo de INTRODUCCIÓN del Tesis se ha basado en la Estructura del Tesis establecido por la Directiva vigente para el Procedimiento de Elaboración de la Tesis para la obtención del Grado de Magister en la Universidad N.M. de San Marcos.

En forma adicional el autor consultó información metodológica de la obra “Metodología de la Investigación” por Hernández y Baptista, Méjico, 2003

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Situación Problemática

Una buena ejecución de obra de cimentación para estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión de energía eléctrica requiere generalmente la ejecución previa de investigaciones geológicas y geotécnicas del terreno. Además debe existir una buena correlación entre ellas para lograr una cimentación segura y estable.

Sin embargo en la práctica muchos estudios de cimentación para las torres y postes de las líneas de transmisión no se han venido haciendo en forma adecuada, tan es así que con el afán de reducir costos de los estudios algunas veces solo realizan estudios geotécnicos y en otros casos solo han realizado en forma cuidadosa los estudios geotécnicos y los estudios geológicos en forma descuidada (incompleta o confusa). La falta de estudios geológicos adecuados puede atentar con el correcto desarrollo de los estudios geotécnicos basados en estudios geológicos y a la larga atentar contra la estabilidad y seguridad de las obras.

Reconocidos especialistas en cimentaciones nacionales y extranjeros han indicado y recomiendan un cuidadoso desarrollo de las investigaciones geológicas y geotécnicas.

Al respecto son importantes las indicaciones hechas por el Dr. Alva J. en su trabajo Introducción y Conceptos Básicos expuesto en el Seminario de Diseño y Construcción de Cimentaciones realizado en Lima en 1986

Considerando esta situación el autor del presente Tesis ha propuesto un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas que sirva de base para lograr una buena obra de cimentación de torres y postes que sostengan las líneas de transmisión de energía eléctrica. Este modelo está expuesto en detalle en el capítulo 4 de este Tesis. A continuación se explican algunos criterios sobre el tema del Tesis.

Importancia.- El modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas viene a llenar un vacío referente a tener una guía que permita tener un buen diseño de las cimentaciones de las estructuras (torres y postes) de las líneas de transmisión de energía eléctrica. Aunque el modelo propuesto no es perfecto sin embargo puede ayudar en conseguir una cimentación estable y segura.

Novedad.- El tema de tesis es nuevo, pues se trata de la propuesta de un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas que busca conseguir una buena cimentación de torres y postes de líneas de transmisión de energía eléctrica

Interés.- Las investigaciones que tiene el modelo alcanzan a diversos campos de interés: científico, técnico, académico y para el desarrollo económico, social y aun educativo. Pues el desarrollo de la electrificación propicia el desarrollo educativo del país.

Viabilidad.- el tema investigado es viable tanto el punto de vista material como económico. Considerando de que el suscrito ha estado laborando hasta la actualidad en más de 30 años en proyectos de electricidad. Siendo 18 años en Electroperú y posteriormente hasta el actual como Ing. Geólogo Consultor Independiente. El ejemplo del proyecto presentado en el capítulo 5 del Tesis ha sido desarrollado por el suscrito en el año 2005. Este fue un

trabajo efectuado para una empresa particular en la información de la tesis como también los planos son un ejemplo real.

1.1.2 Formulación del Problema

Problema principal

¿Mediante un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas seleccionadas se puede definir la cimentación adecuada y estable de torres y postes de líneas de transmisión de energía eléctrica?

Problemas Específicos

- 1) ¿La realización de las investigaciones geológicas seleccionadas del modelo propuesto contribuyen a la definición de una cimentación adecuada y estable de las torres y postes de las líneas de transmisión de energía eléctrica?
- 2) ¿La realización de las investigaciones geotécnicas seleccionadas del modelo propuesto contribuyen a la definición de una cimentación adecuada y estable de las torres y postes de las líneas de transmisión de energía eléctrica?

Tanto el problema principal como los problemas específicos han sido desarrollados con un enfoque cuantitativo con alcances que van desde lo exploratorio a descriptivo. Tratándose de una investigación nueva con limitada bibliografía y otras fuentes de referencia, el modelo propuesto es un intento de llenar las expectativas de definir la cimentación de estructuras (torres y postes) en forma estable para las líneas de transmisión de energía eléctrica en todo tipo de suelo o roca.

1.1.3 Justificación de la Investigación

El estudio del problema propuesto es conveniente hacerlo tanto del punto de vista teórico como el práctico.

En el primer lugar es conveniente para los ingenieros de cimentaciones de estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión de energía eléctrica para que realicen obras de cimentación con mayor estabilidad y seguridad.

En segundo lugar el poder realizar estas cimentaciones de estructuras para líneas de transmisión de energía eléctrica dentro de condiciones de seguridad y estabilidad propicia el desarrollo de la electrificación de las poblaciones.

Nuestro país aún no completa la electrificación de nuestro territorio, principalmente debido a las dificultades del relieve montañoso de la Cordillera de los Andes y las impenetrables selvas amazónicas. Las variadas regiones de nuestro país presentan también variadas condiciones técnicas de dificultad a la electrificación.

Otro beneficio está ligado al desarrollo científico y tecnológico que representa el incrementar los conocimientos que está relacionado a las universidades en donde puede mejorarse el nivel académico.

1.1.4 Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Preparar un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas seleccionadas y cuya realización permitan definir una cimentación adecuada y estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Objetivos Específico

1. Preparar la relación de las investigaciones geológicas del modelo propuesto y cuya realización permita colaborar a la definición de la cimentación adecuada y estable de las estructuras (postes y torres) de las líneas de transmisión de energía eléctrica.
2. Preparar la relación de las investigaciones geotécnicas del modelo propuesto y cuya realización permita colaborar a la definición de la cimentación adecuada y estable de las estructuras (torres y postes) de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

1.2 MARCO TEORICO

1.2.1 Antecedentes del Problema

En la actualidad la mayoría de los especialistas en cimentaciones recomiendan la ejecución de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir una cimentación estable y segura. Sin embargo en la actualidad numerosos especialistas encargados de proyectos de cimentaciones de estructuras para líneas de transmisión no cumplen estas recomendaciones, efectuando muchas veces solo las investigaciones geotécnicas, otras veces hacen investigaciones geológicas en forma incompleta y confusa. Desconocen que las investigaciones geológicas son importantes. Mediante la presente tesis se propone el empleo de un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas que resuelva este problema. El autor en su revisión de información tanto bibliográfica como consultada personalmente no ha hallado ninguna información sobre algún modelo de investigaciones similar al propuesto.

1.2.2 Bases Teóricas

Las principales bases teóricas en que se sustenta la tesis propuesta comprenden los siguientes campos del conocimiento científico y técnico:

En el campo de las investigaciones geológicas:

- a) Investigaciones en Fotogeología y Sensores Remotos
- b) Investigaciones de Riesgo Sísmico
- c) Técnica de mapeo geológico del trazo de la línea de transmisión
- d) Técnica de Petrografía Microscópica para determinar que minerales componen las rocas y nombre que le corresponde a las rocas.

En el campo de las investigaciones geotécnicas:

- a) Características geotécnicas de rocas y suelos
- b) Clases de torres y postes
- c) Clases de cimentación superficial
- d) Técnicas para ensayo “in situ” en suelos para densidad natural con el cono de arena y el SPT (Estandar Penetration Test)
- e) Técnica de evaluación Geomecánica de rocas
- f) Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos para cimentaciones
- g) Técnica de Zonificación Geotécnica del trazo de la línea
- h) Técnicas para el cálculo de capacidad portante de suelos y rocas

En el campo del Modelo de Investigaciones geológicas y geotécnicas para la cimentación de estructuras de líneas de transmisión:

- a) Evaluación de las dificultades para un modelo general
- b) Características básicas de un modelo general

1.2.3 Marco Conceptual o Glosario

- a) Investigaciones geológicas.- Investigaciones que conciernen a los aspectos geológicos de un lugar (tipos de rocas y suelos o depósitos cuaternarios, aspectos estructurales de las rocas y características de riesgo sísmico).
- b) Tipos geológicos de rocas.- Se refieren a su clasificación geológica general: ígneas, Sedimentarias y metamórficas.
- c) Tipos geológicos de suelos.- Se refieren a su clasificación genética: coluvial, fluvial etc.
- d) Aspecto geológico estructural.- Fracturas, fallas, pliegues etc.
- e) Riesgo sísmico.- Puede expresarse en forma regional y local. Se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un sismo. Hay mayor riesgo en la cercanía de los contactos entre placas de la corteza terrestre como ocurre la costa del Perú.
- f) Investigaciones geotécnicas.- Son investigaciones que conciernen a las propiedades geotécnicas de las rocas y suelos. Son numerosas, todas ellas se refieren a las propiedades de los materiales geológicos para la construcción. Por ejemplo la capacidad portante que usualmente se expresa en kg. por cm. cuadrado.
- g) Calidad de la roca.- Preliminarmente se puede evaluarla por su grado de Fracturamiento y alteración química de sus minerales. Un método más completo es su evaluación Geomecánica.
- h) Calidad de los suelos.- Se hace mediante estudios de campo y laboratorio de Mecánica de Suelos.
- i) Capacidad portante de rocas y suelos.- Se hace determinando su resistencia en kg. Por cm. cuadrado de superficie, para ello se hacen ensayos en el campo, en laboratorio y cálculos aplicando la fórmula de Terzaghi.
- j) Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras (torres y postes) de líneas de transmisión.- Es un modelo que utilizando informaciones geológicas y geotécnicas nos puede permitir definir las

características de una cimentación estable y segura de las estructuras de la línea de transmisión.

- k) Sistemática de interpretación fotogeológica.- Sigue el siguiente orden: 1° interpretación del drenaje, 2° interpretación geomorfológica, 3° interpretación geo-estructural y 4° interpretación del tipo de roca y suelo.
- l) Sensor remoto.- Instrumento que capta información a distancia sin tocar el objeto. Pueden ser cámaras fotográficas que obtienen fotografías, sensor de radar SLAR que produce y capta radiaciones de radar y produce imágenes de radar y sensor multiespectral satelital que capta varias imágenes de diferentes longitudes de onda simultáneamente.
- m) Mapa de riesgo sísmico.- Mapa que muestra la zonificación sísmica de un país, las zonas indican diferentes valores de intensidad sísmica, las zonas con alta sismicidad tienen mayor riesgo sísmico.
- n) Método Bieniawski de calificación de la calidad geomecánica de una ladera rocosa.- Este método hace una evaluación de la calidad de la roca basado en 5 factores: 1) Resistencia a la compresión simple 2) Valor RQD (Rock Quality Designación) que es el porcentaje de trozos de testigos de perforación mayores de 10 cms. 3) El espaciamiento de discontinuidades 4) El estado de las fisuras y 5) presencia de aguas subterráneas
- o) Fórmula de Terzaghi para Capacidad portante.-Esta fórmula considera valores de campo como ancho y profundidad de calicata y valor de densidad natural del suelo mediante el método del cono de arena, valores de laboratorio de ensayo de corte directo que define la cohesión del suelo y el ángulo ϕ que sirve para calcular los factores de carga adimensionales. El resultado final la fórmula de un valor de kg/cm^2 de capacidad portante.
- p) Investigaciones de laboratorios.-Intervienen principalmente los siguientes laboratorios: laboratorio de mecánica de suelos, laboratorio de mecánica de rocas y laboratorio petrográfico, este último investiga que minerales componen una roca y su estado de alteración.

- q) Principales tipos de suelos.-Son los siguientes: a) arcillas; y limos plásticos b) arenas y limos no plásticos y suelos heterogéneos
- r) Suelos difíciles.-Son los siguientes: a) suelos que sufren ataque químico, b) suelos colapsables, c) suelos expansivos y d) suelos licuables.

1.3.1 HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.3.2 Hipótesis General

Existe una relación importante entre las variables de las investigaciones geológicas y geotécnicas de un modelo y la mejor calidad de la cimentación de las estructuras (postes y torres) de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

1.3.2 Hipótesis específicas

1. Las investigaciones de las variables geológicas (mapeo geológico, etc.) nos permitirán conocer una parte importante de las condiciones de estabilidad de la cimentación de las estructuras (postes y torres) de las líneas de transmisión de energía eléctrica.
2. Las investigaciones de las variables geotécnicas como (calidad de las rocas, etc.), nos permitirán conocer una parte importante de las condiciones de estabilidad de la cimentación de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

1.3.3 Identificación de variables

De un modo general el autor ha considerado como variable dependiente la cimentación con la máxima calidad del modelo de investigaciones propuesto y como variables independientes a las

investigaciones geológicas y geotécnicas del modelo referido adoptándose la siguiente ecuación:

$$Y = X + Z$$

En donde

Y: variable dependiente que corresponde a la cimentación del modelo

X: conjunto de variables independientes pertenecientes a las investigaciones geológicas

Z: conjunto de variables independientes pertenecientes a las investigaciones geotécnicas.

La identificación en detalle de las variables independientes geológicas serían.

X₁: Evaluación del mapeo geológico superficial del trazo

X₂: Evaluación del riesgo sísmico del trazo indicado

La identificación en detalle de las variables independientes geotécnicas serían:

Z₁: Evaluación geomecánica de rocas del trazo

Z₂: Evaluación de la capacidad portante de los suelos en calicatas en el trazo

Z₃: Evaluación de la capacidad portante de rocas en el trazo

El desarrollo en detalle de la ecuación sería

$$Y = (X_1 + X_2) + (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

En este ejemplo solo se están considerando 2 variables independientes geológicas y 3 variables independientes geotécnicas pero si se desea una mayor calidad de la cimentación de las estructuras pueden considerarse un número mayor de variables independientes geológicas y geotécnicas.

1.3.4 Operacionalización de variables

Según la Directiva para el Procedimiento de Elaboración de la Tesis para la Obtención del Grado de Magister o Doctor de la UNMSM la operacionalización de variables son especificaciones de actividades u operaciones necesarias para medir una variable. Aplicando ello a las variables identificadas en el párrafo anterior podemos decir:

La operacionalización de las variables geológicas sería así:

La variable X_1 sobre el mapeo geológico superficial sería examinando el mapeo geológico efectuado y se medirá la veracidad de lo mapeado yendo al terreno y confirmar lo mapeado.

La variable X_2 referente al riesgo sísmico sería en primer lugar chequeando en que zona sísmica se halla el trazo de la línea de transmisión proyectada midiendo así el grado de sismicidad

Con relación a las variables geotécnicas se procederá así:

Para la variable Z_1 sobre la evaluación Geomecánica de las rocas en el trazo se aplicaría el método RMR de Bieniawski que mide un conjunto de detalles de la roca y que luego se le asigna un puntaje de la calidad de la roca en el trazo.

Para la variable Z_2 sobre la capacidad portante de suelos en calicatas en el trazo se tomarían valores de campo, laboratorio y cálculos aplicando la fórmula de Terzaghi que se debe dar en Kg. /cm.² de capacidad portante del suelo.

Para la variable Z_3 sobre la capacidad portante de las rocas en el trazo se aplicarían técnicas similares a la usada para suelos.

1.3.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA

“MODELO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y GEOTÉCNICAS PARA DEFINIR LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS DE LINEAS DE TRANSMISION ELECTRICA”

| 1) PROBLEMA PRINCIPAL | 2) OBJETIVO GENERAL | 3) HIPOTESIS GENERAL |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Mediante un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas seleccionadas se pueden definir la cimentación adecuada y estable de las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica? | Preparar un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas seleccionadas cuya realización permita definir una cimentación adecuada y estable de las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica | Un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas permitirá definir la cimentación estable de las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica |
| PROBOLEMAS ESPECIFICOS | OBJETIVOS ESPECIFICOS | HIPOTESIS ESPECIFICAS |
| <p>¿La realización de las investigaciones geológicas seleccionadas del modelo propuesto contribuyen a la definición de una buena cimentación estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica.</p> <p>¿La realización de las investigaciones geotécnicas seleccionadas del modelo propuesto contribuye a la definición de una cimentación estable de las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica?</p> | <p>Preparar la relación de las investigaciones geológicas del modelo propuesto y cuya realización permita colaborar a la definición de la cimentación adecuada y estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica.</p> <p>Preparar la relación de las investigaciones geotécnicas del modelo propuesto y cuya realización permita colaborar a la definición de la cimentación adecuada y estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica</p> | <p>Las investigaciones de las variables geológicas ayudarán a la definición de una cimentación estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica.</p> <p>Las investigaciones de las variables geotécnicas ayudarán a la definición de una cimentación estable de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica</p> |

| 4) VARIABLES DE LA HIPOTESIS ESPECIFICA | 5) VARIABLES DE LA HIPOTESIS ESPECIFICA |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VARIABLES GEOLOGICAS X1: Evaluación fotogeológica del trazo de la línea X2: Evaluación del mapeo geológico superficial del trazo X3: Evaluación del riesgo sísmico del trazo indicado VARIABLES GEOTECNICAS Z1: Evaluación geomecánica de rocas del trazo Z2: Evaluación de la capacidad portante de los suelos en calicatas en el trazo Z3: Evaluación de la capacidad portante de rocas en el trazo | VARIABLES GEOLOGICAS X1: Mediante el estudio estereoscópico de fotos aéreas del trazo de la línea X2: Mediante el chequeo de campo y el mapeo geológico superficial del trazo de la línea X3: Recolección de datos históricos de sismos en el trazo de la línea y evaluación de sismogramas del trazo de la línea VARIABLES GEOTECNICAS Z1: Método Geomecánica de Bieniawski Z2: Datos de Campo, laboratorio, y aplicación de la fórmula de Terzaghi Z3: Técnica similar a la de suelo aplicable a rocas |

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Tipo y Diseño de Investigación

En primer lugar se debe explicar que la metodología empleada básicamente se refiere al ejemplo del estudio hecho “Geología y Geotecnia de la línea de transmisión 66 kV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo-S.E. Poracota” situada en la localidad minera de Orcopampa, Arequipa y realizada por el suscrito en 2005, este figura en el Tesis en el sub capítulo 4.4. Es una línea de aprox. 30 kms. que se desarrolla entre los 4000 y 5000 m.s.n.m. El método de trabajo e investigación se ha hecho teniendo en cuenta investigaciones exploratorias y descriptivas con un enfoque cuantitativo. El diseño puede representarse con la siguiente ecuación:

$$Y = X + Z$$

En donde:

Y: variable dependiente que corresponde a la cimentación del modelo propuesto

en la tesis.

X: conjunto de variables independientes geológicas

Z: conjunto de variables independientes geotécnicas

Entre las variables independientes geológicas tenemos: fotogeología del trazo, mapeo geológico superficial y sobre el riesgo sísmico.

Entre las variables independientes geotécnicas tenemos: sobre la evaluación geomecánica de rocas del trazo, sobre la capacidad portante de suelos en el trazo y sobre la capacidad portante de las rocas del trazo.

1.4.2 Unidad de Análisis

Se han considerado preliminarmente para el proyecto de la línea de transmisión de Orcopampa en Arequipa 2 unidades de análisis:

- a) Los estudios e investigaciones en las superficies de los suelos y rocas siguiendo el trazo de la línea de transmisión.
- b) Los estudios e investigaciones hechos en las calicatas siguiendo el trazo de la línea de transmisión.

1.4.3 Población de estudio

- a) Se han determinado 17 tramos superficiales en el trazo siendo 8 en superficies rocosas y 9 en superficies sobre suelos.
- b) Se han determinado 5 calicatas para investigaciones subterráneas, estas se consideran representativas de todo el trazo de la línea.

1.4.4 Tamaño de muestra

Las muestras de rocas y suelos en los tramos superficiales del trazo son representativas.

Las muestras de suelos de las 5 calicatas también son representativas y fueron llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos.

1.4.5 Selección de muestras

En las investigaciones superficiales muchas veces se han hecho estimaciones sobre la naturaleza geológica o calidad geotécnica tanto de suelos como de superficies rocosas siguiendo el trazo de la línea.

Las muestras de las calicatas en suelos siguiendo el trazo de la línea de transmisión se han tenido cuidado especial tanto para las muestras en los lugares de las cimentaciones o se traten de muestras a estudiarse como material de cantera.

1.4.6 Técnicas de recolección de datos

- a) Datos de variables geológicas.- Se ha usado el estereoscopio de espejo para estudio geológico de fotos aéreas. Uso de información sismográfica para evaluar el riesgo sísmico.
- b) Datos de variables geotécnicas.- Se ha usado el método geomecánico de Bieniawski para determinar la calidad de las rocas. Evaluación de la capacidad portante de los suelos aplicando la fórmula de Terzaghi a los valores de campo y laboratorio de muestras.

1.4.7 Análisis e interpretación de los datos

El análisis e interpretación de los datos de las variables geológicas y geotécnicas que pertenecen al trazo de la línea de transmisión que son variados han seguido un enfoque cuantitativo con diseño mayormente experimental, que deben determinar claramente las condiciones de estabilidad de la cimentación de las estructuras (torres y postes) de la línea de la línea de transmisión estudiada. No siempre los análisis han presentado resultados favorables a la cimentación de las estructuras, en tales casos se deben recomendar soluciones técnicas que consiga una cimentación segura y estable. Tanto la interpretación de los resultados de las investigaciones como las conclusiones y recomendaciones de los informes han procurado que la cimentación para las estructuras sea segura y estable. Cuando hay problemas sean geológicos u geotécnicos el profesional debe proseguir investigando hasta encontrar la solución a dichos problemas y ofrecer así una cimentación segura y estable.

CAPITULO 2.0 METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

2.1 INVESTIGACIONES DE GABINETE

2.1.1 Revisión de información geológica publicada

La principal fuente de información geológica publicada ha sido el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), que ha publicado en 137 boletines el 100 % de la Carta Geológica Nacional. Contienen mapas geológicos a la escala 1:100,000 para la costa, sierra y selva alta además mapas a la escala 1:200,000 para la selva baja. Esta información de los mapas por su escala es insuficiente pero es de mucha utilidad para iniciar y guiar los estudios de los proyectos de líneas de transmisión.

Para información adicional consultar Sinopsis de la Geología del Perú de Bellido E. 1969 y también el Boletín 55 de INGEMMET sobre Geología del Perú, 1995.

2.1.2 Investigaciones en Fotogeología y Sensores Remotos

2.1.2.1 Investigaciones en Fotogeología Aplicada

A) Importancia

La importancia de las investigaciones Fotogeológicas para los proyectos de líneas de transmisión son muchas, aquí indicamos algunas:

1. Mediante esta técnica ha sido posible cubrir el 100 % del trazo con información geológica, mientras que con las exploraciones de campo muy pocas veces se puede completar el estudio geológico de todo el trazo sobre todo en zonas inaccesibles de selva y cordillera.

2. Los estudios fotogeológicos han permitido obtener información de áreas inaccesibles del trazo de la línea de transmisión que son necesarias y es casi imposible obtenerla mediante exploraciones terrestres.

3. La información fotogeológica de lugares inaccesibles aunque es de inferior calidad que la se puede obtener por exploraciones terrestres aun así ha sido de mucha utilidad si no va a poder realizarse la exploración por tierra por ejemplo en fallas regionales.

B) De las fotos aéreas y el estereoscopio

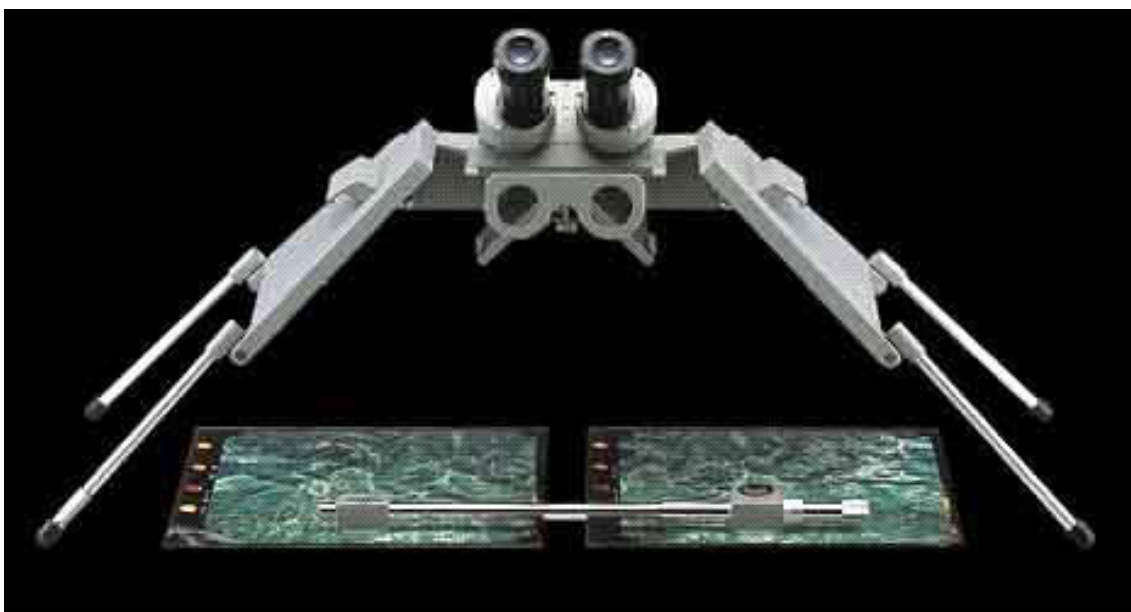
Normalmente las fotos aéreas son tomadas por el avión siguiendo líneas de vuelo que recubren el trazo del proyecto, para ello generalmente son necesarias varias líneas de vuelo. Las fotos aéreas de una línea de vuelo entre dos fotos vecinas tienen un traslape de aproximadamente 60 % de recubrimiento. Este traslape entre dos fotos vecinas tiene por objeto conseguir la visión estereoscópica durante su estudio bajo el estereoscopio.

Si las fotos aéreas son numerosas se acostumbra agruparlas en paquetes por líneas de vuelo. Para efectuar el estudio fotogeológico es usual utilizar un estereoscopio grande de tamaño profesional de espejos y anteojos binoculares. Los anteojos binoculares permiten un mayor aumento de las imágenes. Ver Ilustración N° 1 que se adjunta.

El foto intérprete utiliza una lámina transparente de mica sobre cada foto en donde con unos lápices especiales efectúa los trazos necesarios.

Posteriormente debe pasar la información fotogeológica de todas las fotos aéreas a un plano topográfico. Además debe de contar siempre con el plano geológico del INGEMMET para referencia. Ver ilustración No 1 adjunta.

Es muy útil la obra especializada del Servicio Geológico de los EE.UU. "Aerial Photographs in Geologic Interpretation and Mapping Geological Survey" Professional Paper 373, USGS, USA, 1960



ILUSTRACION N° 1 ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS PROFESIONAL

Fuente: Conferencia inédita Ing. Epifanio Suyo Rivera

C) Sistemática de la Fotogeología Aplicada

El estudio de la Fotogeología Aplicada tiene por objeto preparar planos fotogeológicos del trazo de la línea de transmisión. Este estudio sigue una sistemática ordenada para lograr mayor información geológica útil en menor tiempo y es como sigue:

a) Interpretación del drenaje

Es preciso distinguir los distintos patrones de drenaje presentes. Cada patrón de drenaje nos brinda información útil que nos conduce a un mejor entendimiento geológico.

El drenaje dendrítico nos indica uniformidad de un solo tipo de roca o de depósito cuaternario. Un drenaje angular nos indica la presencia de lineamientos estructurales de por ejemplo dos sistemas de fracturas y fallas que se cruzan angularmente. Un drenaje paralelo nos indica generalmente

suelos finos en una ladera. Un drenaje radial nos indica la presencia de un cono volcánico. Un drenaje meándrico nos indica el curso de un río con bajísima gradiente como sucede con el río Ucayali en nuestra selva baja. Existen muchos otros patrones de drenaje. Ver ilustración N° 2 adjunta.

b) Interpretación geomorfológica

En esta interpretación se trata de distinguir las diferentes formas del terreno las cuales se denominan unidades geomorfológicas. Se inicia con las grandes unidades por ejemplo las cordilleras y valles y luego se describen menores detalles como por ejemplo tipos de secciones de valle, pendientes de laderas etc. Junto con este estudio se tratan los problemas de Geodinámica Externa sea de laderas (caída de rocas, deslizamientos y flujos o “huaycos”) y de drenaje (aluviones e inundaciones). La ubicación de las localidades con problemas de Geodinámica Externa es de mucha importancia si ellos se hallan en el trazo de la línea de transmisión, ya que si los fenómenos son activos y afectan un gran tramo de la línea puede ser necesario estudiar una alternativa del tramo afectado.

c) Interpretación geo-estructural

Trata de ubicar los principales rasgos geo-estructurales vecinos al trazo de la línea. En primer lugar se debe ubicar a muchos puntos con estratos rocosos su rumbo y buzamiento. En Fotogeología los buzamientos tienen sus símbolos para horizontal, suave, medio, fuerte y vertical estimativos.

También se debe registrar los sistemas de fracturas y fallas presentes. De igual manera se registran los pliegues (anticlinales y sinclinales) con sus símbolos propios.

Debe tenerse cuidado en fallas activas cerca del trazo de la línea tratando de seguir sus alineamientos y ver en que forma la afectan.

Para mayor información sobre Geología Estructural consultar la obra Billing M. Ver Bibliografía

d) Interpretación de tipos de rocas y suelos

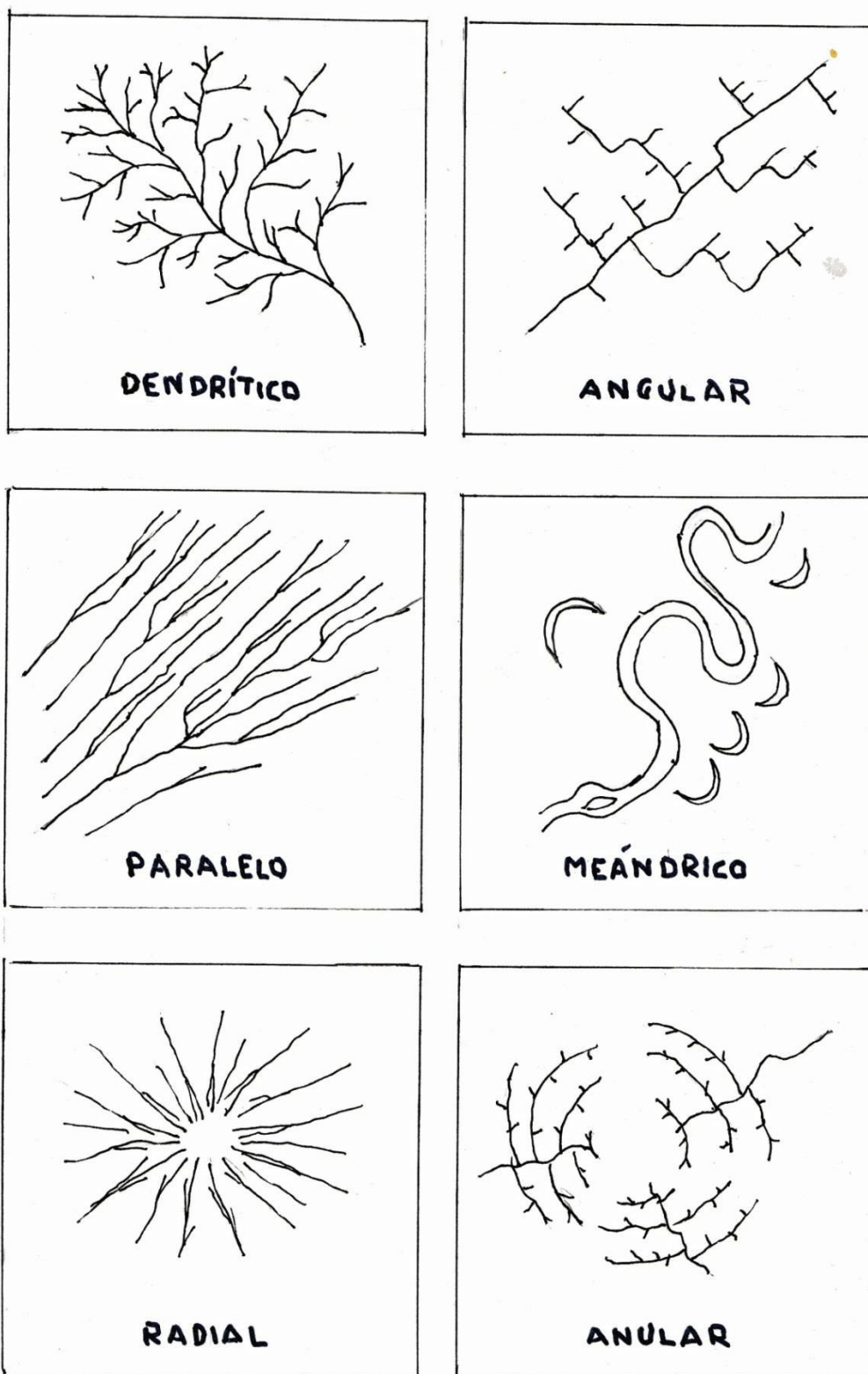
La interpretación de los tipos de roca no es fácil. Por lo general solo pocos tipos de rocas pueden ser identificados así tenemos a las rocas intrusivas pero sin definir qué tipo de intrusivo. Se pueden identificar las calizas por su color y estado de karstificación. Algunas veces pueden confundirse rocas sedimentarias con volcánicas en este caso es muy útil la ayuda del mapa geológico del INGEMMET. Las lutitas si son diferenciables.

Por otro lado con relación a la interpretación de los depósitos cuaternarios o suelos si son más fáciles de diferenciarlos: coluviales, aluviales, eólicos, glaciares etc.

Para la fotointerpretación es de mucha ayuda la escala de las fotos aéreas. Así es preferible fotos a la escala 1: 20,000 que a la escala 1: 40,000.

Una vez que se ha conseguido estudiar todas las fotos aéreas trazando todos los detalles en micas transparentes para conservar el trabajo foto interpretativa se procede a pasar esta información a un plano topográfico y este constituirá el plano fotogeológico del proyecto. Este plano les servirá a los geólogos que hagan el mapeo geológico superficial de campo.

ILUSTRACION Nº 2
Patrones de Drenaje Fluvial



Fuente Texto de Geología Aplicada. Ing. E. Suyo R. 2012

2.1.2.2 Imágenes de Sensores Remotos

Las imágenes de sensores remotos como son las de SLAR aéreo y las multiespectrales del satélite Landsat tienen aplicaciones para estudios geológicos regionales en proyectos de líneas de transmisión de gran extensión. Veamos a continuación algunas características y aplicaciones de ellos.

A) Imágenes de radar aéreo SLAR

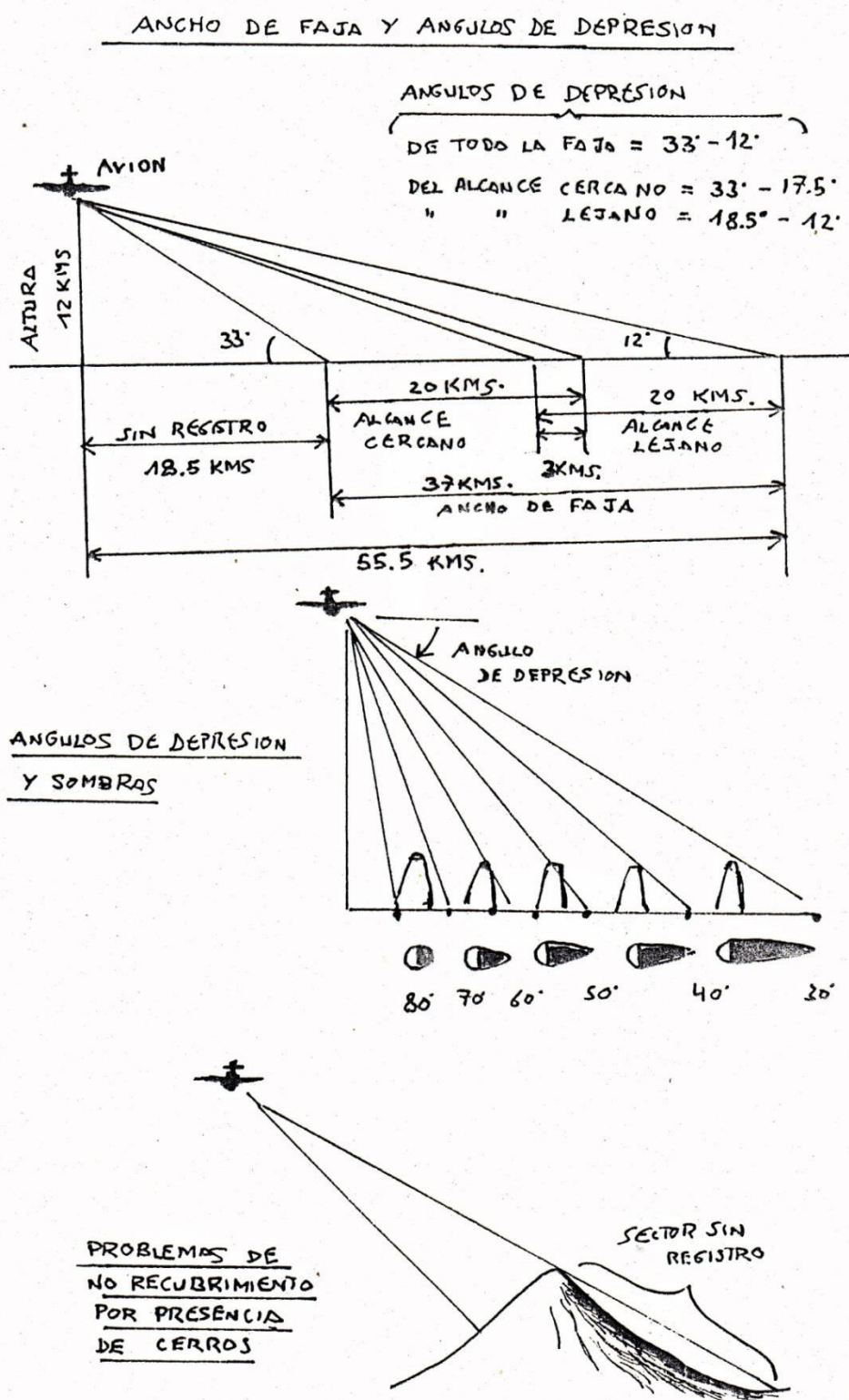
Las imágenes SLAR (side looking airborne radar) tomadas desde aviones lo hacen con haces de radar dirigidas lateralmente al suelo que luego retornan a la antena del avión por ello sobre una misma línea de vuelo tiene que tomarse dos veces: una de ida y otra de regreso porque de lo contrario en lugares con cerros no podrían recubrirse los dos lados de un cerro. Este mecanismo de generación de estas imágenes requiere una técnica de interpretación muy cuidadosa. Sin embargo las ventajas de estas imágenes son muchas, por ejemplo los haces de radar pueden atravesar todas las nubes por muy recargadas que estén también pueden atravesar la vegetación.

Estas características las hacen muy adecuadas para estudios en regiones selváticas de nuestro país y de cualquier región selvática del mundo. En tanto que las fotos aéreas en regiones de selva tienen siempre el problema de las nubes y la vegetación tupida. El INGEMMET hizo un contrato con la compañía norteamericana AEROSERVICE que hizo un levantamiento de radar que cubre la Cordillera Oriental en 15 departamentos: Cajamarca, Amazonas, San Martín, La Libertad, Ancash, Huánuco, Pasco, Junín, Ucayali, Huancavelica, Ayacucho, Cusco, Apurímac, Madre de Dios y Puno. INGEMMET posee otros levantamientos de radar pero el realizado por AEROSERVICE es el más completo. Estas imágenes se presentan en mosaicos a la escala 1: 100,000.

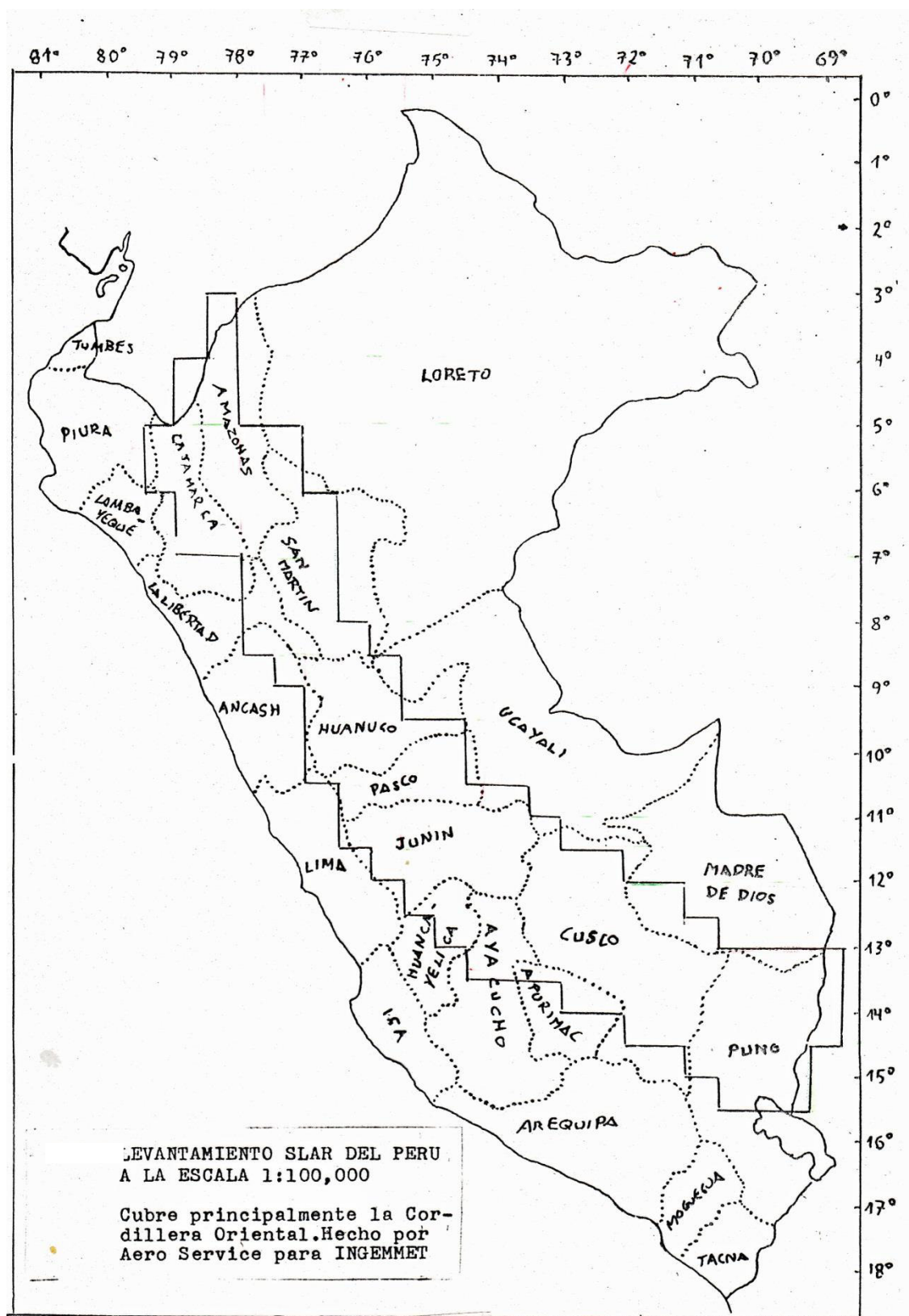
Ver la ilustración N° 3 y 4 que se adjuntan.

ILUSTRACION N° 3

Geometría del Sistema SLAR



ILUSTRACION N° 4



B) Imágenes del satélite LANDSAT

Las imágenes de este satélite se denominan Landsat TM y son multispectrales es decir han sido tomadas en varias bandas del espectro electromagnético, las diferentes bandas tienen la ventaja que cada una de ellas capta diferentes características del suelo, las rocas o la vegetación. Tiene como desventaja de que no puede evitar la cobertura de nubes. Como ventajas tiene que puede mostrar los rasgos de geología estructural regional, puede mostrar las alteraciones de las rocas y las variaciones de los tipos de vegetación. Las imágenes se presentan en hojas de tamaño cuadrángulo y a la escala 1: 100,000. Generalmente se estudian en forma conjunta con fotos aéreas para tener una buena información.

2.1.3 Investigaciones de Riesgo Sísmico

2.1.3.1 Mapas de Regionalización Sísmica del Perú

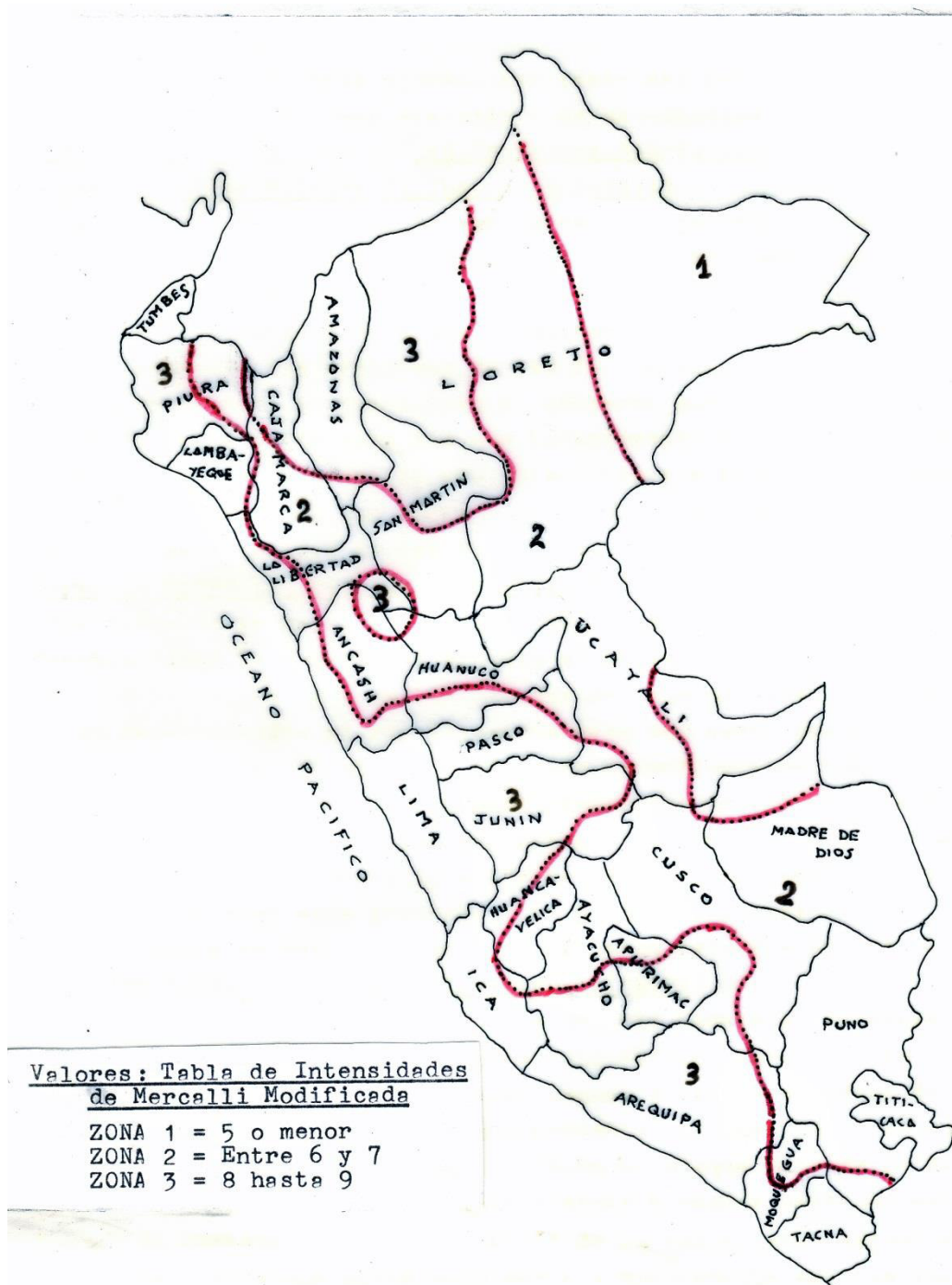
A) Mapa de Regionalización Sísmica del Perú mediante Intensidades por J. Chávez y D. Huaco del Inst. Geofísico del Perú, 1975

Los autores de este mapa lo presentaron en la Reunión Andina de Seguridad Sísmica de 1975 en un trabajo titulado “Regionalización Sísmica del Perú mediante Intensidades”. En el texto que acompaña al mapa se explica de que la distribución de intensidades producidas por varios sismos destructivos ocurridos en el Perú han permitido determinar curvas de atenuación de la intensidad en dos direcciones preferenciales. La atenuación encontrada para direcciones paralelas a la costa difiere de la atenuación en la dirección normal a la Cordillera de los Andes. Las ecuaciones empíricas de atenuación han permitido calcular la intensidad en cualquier punto. Según los autores han indicado con las intensidades máximas calculadas para unidades de áreas de un cuarto de grado de longitud producidas por 320 sismos ocurridos desde 1901 a 1974 se han determinado 3 zonas de sismicidad en el Perú. Ver la ilustración No 4 referente a este mapa.

La zona 1 considerada de sismicidad baja comprende básicamente la parte Este de los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios, en donde pueden esperarse sismos con intensidad de 5 o menores en la escala de Mercalli modificada. La zona 2 de sismicidad intermedia está formada principalmente por la zona andina y los flancos orientales de la cordillera andina en donde se pueden esperar sismos con intensidad entre 6 y 7 en la escala de Mercalli modificada. La zona 3 de sismicidad alta lo constituye la faja de la costa con dos penetraciones hacia el Este: una en la zona central (Huancayo y Cerro de Pasco) y la otra en la zona Sur (Arequipa y Apurímac) en donde se pueden esperar sismos con intensidad 8 y en áreas de peligro hasta 9 en la escala de Mercalli modificada. Este mapa de zonificación sísmica del Perú se considera aún vigente según reconocidos sismólogos. Ver ilustración N° 5 sobre mapa de regionalización sísmica de 1975.

ILUSTRACION Nº 5

**MAPA DE REGIONALIZACION SÍSMICA DEL PERU
POR INTENSIDADES, INST. GEOFISICO DEL PERU, 1975**



B) Mapa de Zonificación Sísmica del Perú del Reglamento Nacional de Edificaciones del 2006

Según la Norma E. 030 sobre Diseño Sismoresistente del reglamento indicado en su artículo 5 sobre la zonificación sísmica se expone que el territorio nacional ha sido dividido en 3 zonas como se muestra en la ilustración No 6 adjunta sobre zonificación sísmica del Perú del 2006. Se sostiene que la zonificación propuesta está basada en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estas con la distancia epicentral así como información geotectónica. Para cada zona se le asigna un factor Z como lo indica la tabla siguiente:

| FACTORES DE ZONA | |
|-------------------------|----------|
| Zona | Z |
| 3 | 0.4 |
| 2 | 0.3 |
| 1 | 0.15 |

Este factor Z se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

A continuación se presentan los departamentos y provincias de cada una de las zonas:

| Zona 1 | |
|---------------------|-------------------------------------------|
| Departamento | Provincias |
| Loreto | Mariscal Ramón Castilla, Maynas y Requena |
| Ucayali | Purus |
| Madre de Dios | Tahuamanú |
| Zona 2 | |
| Departamento | Provincias |
| Loreto | Loreto, Alto Amazonas y Ucayali |

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Amazonas | Todas |
| San Martín | Todas |
| Huánuco | Todas |
| Ucayali | Coronel Portillo, Atalaya y Padre Abad |
| Pasco | Todas |
| Junín | Todas |
| Huancavelica | Acobamba, Angaraes, Churcampa, Tayacaja y Vilcashuaman |
| Ayacucho | Sucre, Huamanga, Huanta y Vilcashuaman |
| Apurímac | Todas |
| Cusco | Todas |
| Zona 3 | |
| Departamento | Provincias |
| Tumbes | Todas |
| Piura | Todas |
| Cajamarca | Todas |
| Lambayeque | Todas |
| La Libertad | Todas |
| Ancash | Todas |
| Lima | Todas |
| Prov.C. Callao | ----- |
| Ica | Todas |
| Huancavelica | Castrovirreyna y Huaytará |
| Ayacucho | Cangallo, Huancasancos, Lucanas, Victor Fajardo, Parinacochas y Paucar del Sara Sara |
| Arequipa | Todas |
| Moquegua | Todas |
| Tacna | Todas |

2.1.3.2 Fuentes Sismogénicas y Tipos de Sismos en el Perú

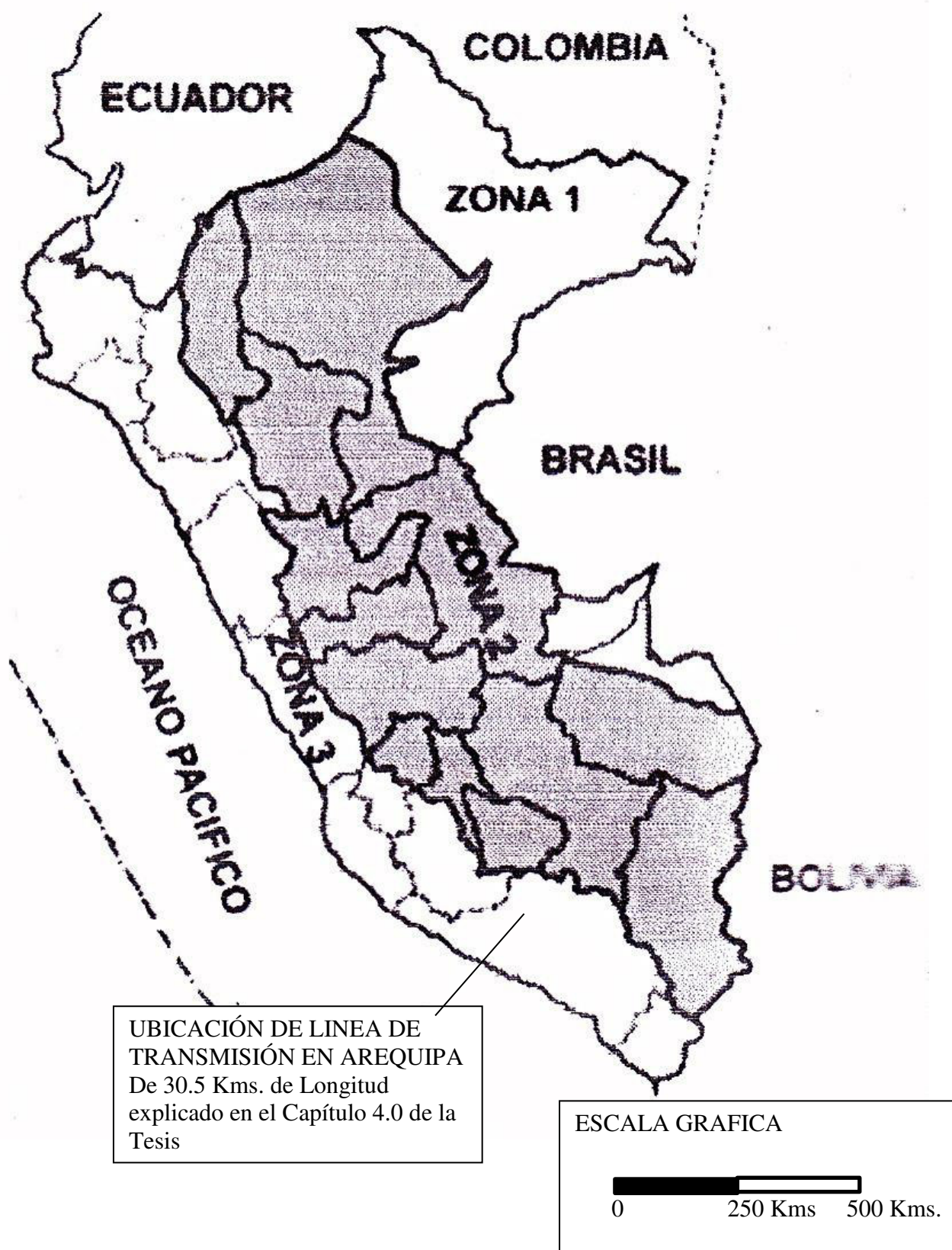
Recientemente el Dr. H. Tavera del Instituto Geofísico del Perú publicó un trabajo con este título en la revista “Geología” N° 6 de Diciembre del 2009 del Capítulo de Ingeniería Geológica del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú donde indica que en el Perú se presentan 4 tipos de sismos. El suscrito ha hecho una breve descripción de ellos y las correlaciona con la regionalización sísmica del Perú. Ver la ilustración N° 7 que se adjunta. Los 4 tipos de sismos son los siguientes:

A) Sismos Intraplaca Oceánica.- Se producen en la placa oceánica de Nazca en las proximidades de la fosa peruano-chilena y son debidos a la deformación y fractura de la placa oceánica de Nazca. Se generan sismos de magnitud moderada menores a 5 Mw. y a profundidad menor de 40 Kms. Se estima que los sismos pertenecen a la región sísmica 3.

B) Sismos Interplaca.- Se producen en la superficie de rozamiento entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental de Sudamérica. Las fuerzas del movimiento de ambas placas al vencer la resistencia producen un sismo. Este tipo de sismo es de lo más destructivo, por ejemplo el sismo de Pisco de 2007. Cuando hay un lapso largo de tiempo entre sismos de este tipo el sismo que se produzca será de mayor magnitud. Estos sismos se estima pertenecen a la región sísmica 3.

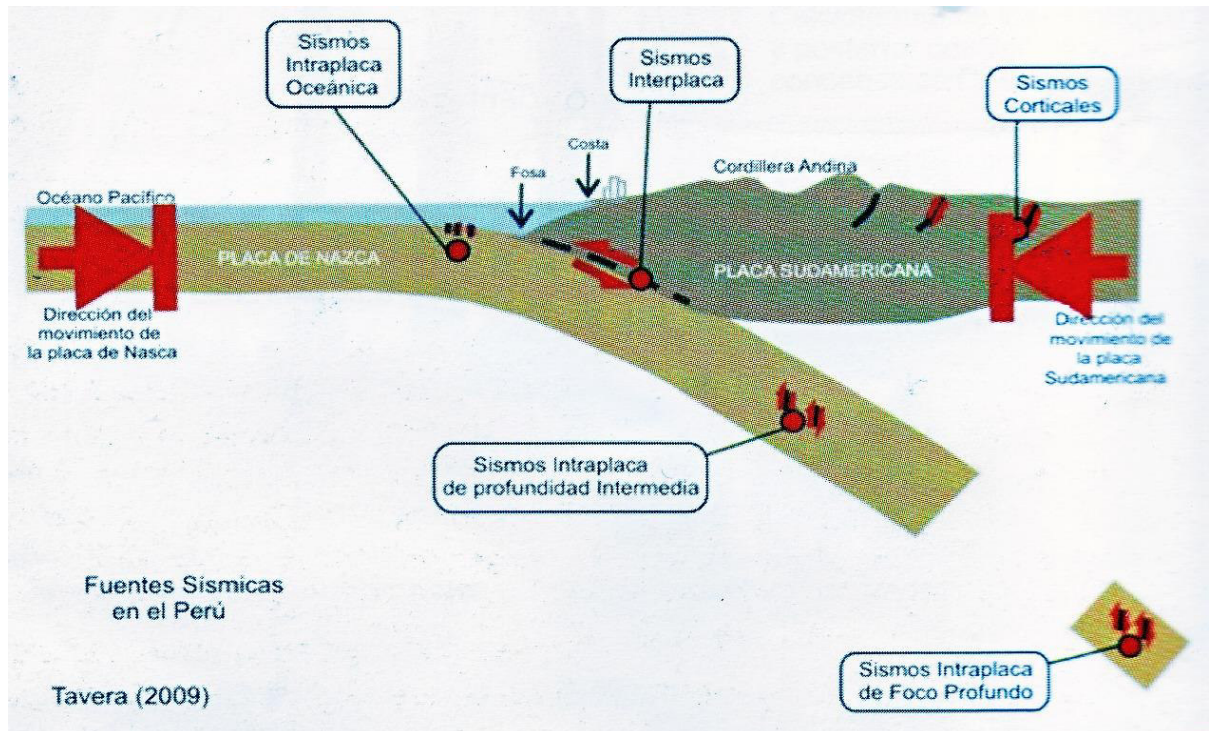
ILUSTRACION Nº 6

MAPA DE ZONIFICACION SÍSMICA DEL PERU
Del Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006



ILUSTRACION Nº 7

Subducción, Fuentes Sismogénicas y Tipos de Sismos en el Perú



C) Sismos Corticales de la placa Continental.- Debido al proceso de subducción de la placa de nazca, la placa de corteza continental está sufriendo el plegamiento de su estructura generando con ello la cordillera de los andes de Sudamérica. De los pliegues se generan fracturas y fallas. La actividad de estas fallas generan estos sismos que son de actividad moderada con profundidad menor de 15 kms. El suscrito considera que estos sismos pertenecen a la región sísmica 2.

D) Sismos Intraplaca sub-continental de profundidad intermedia y profunda.- Debido a la deformación de la placa oceánica de Nazca al subducir debajo de la placa continental y penetrar en el manto se producen sismos moderados. Se producen sismos de profundidad intermedia (entre 100 y 500 kms.) y profunda (entre 500 y 750 kms.). Cuanto más profundo es

el foco del sismo en la superficie se sentirá menos debido al factor atenuación por la distancia en profundidad. El suscrito considera que estos sismos pertenecen a la región Sísmica 1.

2.1.3.3 Estudio de Riesgo Sísmico de Localidades

Utilizando datos del Instituto Geofísico del Perú se han podido estimar y calcular las curvas de iso-aceleraciones en cm./seg.^2 para el área de estudios del proyecto de línea de transmisiones, estas curvas corresponden a sismos con periodo de retorno de 50 y 100 años.

Ejemplo.- La ilustración N° 8 muestra el mapa con curvas de iso-aceleraciones del proyecto de línea de transmisiones 60 KV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo- S.E. Poracota situado en Orcopampa, Arequipa estudiado en el año 2005 el cual muestra solo para el recuadro donde se haya el proyecto curvas de iso-aceleraciones entre 180 y 200 cm./seg.^2 para un periodo de retorno de 50 años.

2.1.3.4 Cálculo de las Fuerzas Sísmicas Horizontales Cortantes para una Estructura

De acuerdo a la Norma E.030 de Diseño Sismoresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (2006), las fuerzas sísmicas horizontales cortantes en la base de una estructura se determinarán mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times P$$

En donde

Z Es el factor de zona del lugar de estudio, según su ubicación en el Mapa de Zonificación Sísmica del Perú de la Norma E.030 mencionada

U Categoría de la edificación según la Norma E.030

C Factor de Amplificación Sísmica

S Perfil del tipo de suelo según la Norma E.030

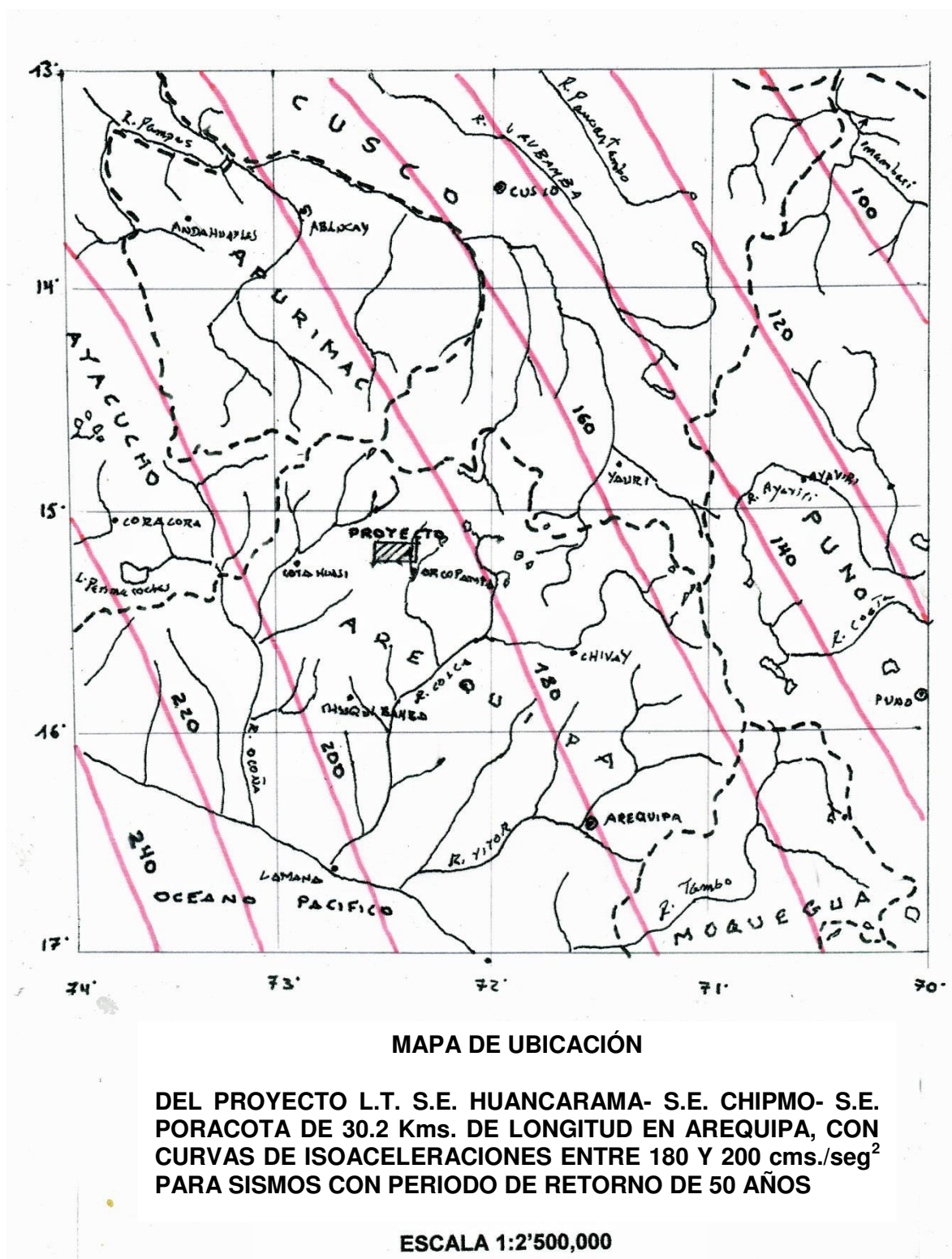
R Sistema estructural de la edificación según la Norma E.030

P Peso de la edificación

De estos parámetros de la expresión el Ingeniero Geotécnico solo puede proporcionar los valores de Z y S . Además puede proporcionar información parcial para el cálculo del parámetro C .

El Ingeniero Civil Estructural a cargo de la construcción puede proporcionar los valores de los parámetros U , R y S . Además puede proporcionar la información que falta para el cálculo del parámetro C .

ILUSTRACION N° 8



Fuente: Dr. H. Tavera, Inst. Geofísico del Perú

2. 2 INVESTIGACIONES DE CAMPO

2. 2. 1 Mapeo Geológico del Trazo de la Línea de Transmisión

Para proceder a ello el Ingeniero Geólogo debe de tener a su disposición el plano fotogeológico del trazo del proyecto si es que se hizo. En cualquier caso es necesario de que disponga del plano geológico de la zona publicado por INGEMMET, esta institución estatal ya dispone del 100 % de los planos geológicos de nuestro territorio nacional. La información geológica de los planos del INGEMMET a la escala 1:100,000 de costa, sierra y selva alta y a la escala 1: 200,000 de selva baja aunque tiene poca información es muy útil para el estudio del proyecto. Generalmente se usan planos topográficos a la escala 1: 25,000 con el trazo proyectado de la línea de transmisión en donde se debe hacer el mapeo geológico en el campo.

2. 2. 1. 1 Mapeo de Tramos en Roca

A) Mapeo de Tramos en Roca Estratificada

En primer lugar el Ing. Geólogo debe reconocer las formaciones estratigráficas luego las unidades litológicas que lo conforman, pueden haber rocas sedimentarias (no se hallaron en el proyecto de la línea de Orcopampa) y volcánicas (como tufos de la Formación Alpabamba del proyecto de la línea de Orcopampa) en el caso de que no puede determinar la litología y esta es importante se debe muestrear la roca para su análisis en laboratorio petrográfico teniendo cuidado en numerarlas y registrar en el plano y en la libreta su ubicación. Luego debe proceder a tomar sus rasgos estructurales: rumbo y buzamiento en diferentes puntos, presencia de pliegues, sistema de fracturas y fallas. Con relación a las fallas se debe anotar y mapear su extensión, su estado de actividad y riesgo para la línea de transmisión. Por último debe mapear la presencia de problemas de Geodinámica Externa (deslizamientos etc.). En el rubro 2.2.1.3 se dan mayores detalles para el mapeo de estos problemas.

B) Mapeo de Tramos en Roca Masiva

En primer lugar se debe definir su litología luego su extensión para ello es de mucha utilidad consultar el mapa geológico del INGEMMET. Luego tomemos nota de sus rasgos estructurales: fracturas y fallas. Se debe especificar su grado de fracturamiento. Si hay alguna falla importante definir su estado de actividad, cercanía al trazo de la línea y estimar si puede perjudicarla. Por último evaluar la presencia de problemas geodinámicos de estabilidad de laderas (caída de rocas etc.). En el rubro 2.2.1.3 se dan detalles para el mapeo de localidades con problemas geodinámicos.

2. 2. 1. 2 Mapeo de tramos en depósitos cuaternarios o suelos

En primer lugar se debe definir el tipo de depósito cuaternario o suelo: fluvial, aluvial, coluvial, morrénico, eólico etc. Luego se debe mapear su extensión. Por último se debe evaluar la presencia de algún problema geodinámico y su influencia negativa para el trazo de la línea. Más detalles sobre el mapeo del problema geodinámico en depósitos cuaternarios ver el rubro 2.2.1.3.

2. 2. 1. 3 Mapeo de Localidades con Problemas de Geodinámica Externa

Los principales problemas de Geodinámica Externa los podemos clasificar en dos grupos:

A) De inestabilidad de laderas.- Si se tratan de laderas rocosas pueden presentarse problemas de caídas de rocas muy fracturadas y deslizamientos aprovechando los planos de estratificación con fuerte buzamiento. Si se tratan de depósitos cuaternarios los problemas generalmente están asociados con la ocurrencia de intensas lluvias y los fenómenos que se producen son deslizamientos y flujos o “huaycos” de barro con clastos en chorreras y abanico en la parte inferior. La ilustración N° 9 muestra un deslizamiento en una ladera.

B) De inestabilidad de drenaje fluvial.- Los problemas más importantes son la ocurrencia de aluviones e inundaciones.

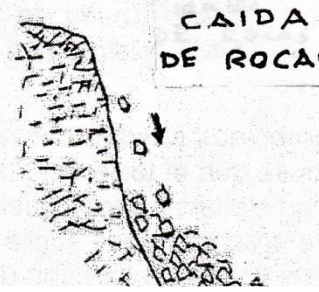
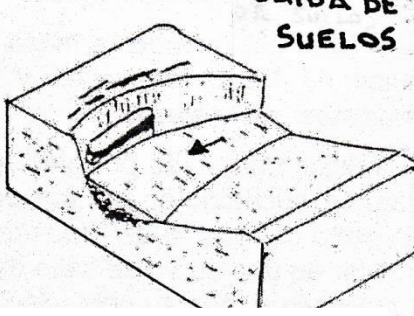

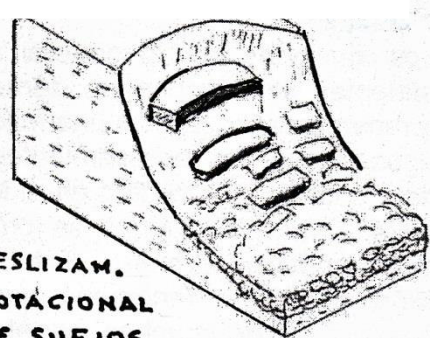
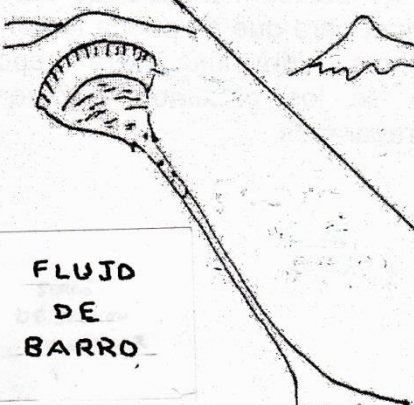
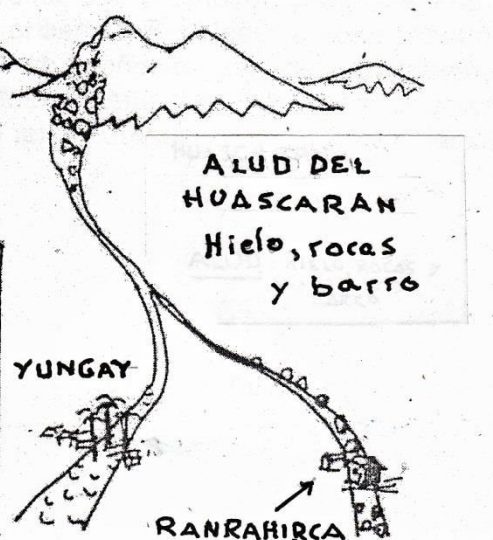
En todos los casos se debe mapear toda la extensión que cubre el problema, sobre todo con mayor detalle cerca del trazo de la línea de transmisión. Se debe definir que existe el riesgo de actividad y que puede afectar al trazo. Se debe buscar una alternativa del trazo de la línea afectado para ello es muy útil el plano fotogeológico del trazo si es que se hizo. Todas las localidades con riesgo geodinámico deben ser numeradas y convenientemente ubicadas con las coordenadas de un GPS manual y deben posteriormente figurar en el plano geológico y texto del informe geológico del proyecto.

2.2.2 Ubicación tentativa de calicatas para estudios de Mecánica de Suelos

Al hacer el mapeo de los tramos en depósitos cuaternarios o suelos se tiene una buena apreciación de donde pueden ser los puntos más representativos para efectuar las calicatas con fines de estudios de mecánica de suelos. Estos deben ser marcados en el terreno con montones de clastos grandes y pintura, además se debe tomar la lectura de su posición con un GPS manual y se debe también marcar su posición aproximada en el plano topográfico. La ilustración N° 10 nos muestra un GPS manual de uso común.

ILUSTRACION Nº 9

PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

| | | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAIDAS |  <p>CAIDA DE ROCAS</p> <p>En la margen izquierda de nacimiento del río Cañete</p> |  <p>CAIDA DE SUELOS</p> <p>En la margen derecha del río Mantaro sector Mayunmarca</p> |
| DESLIZAMIENTOS |  <p>DESLIZAMIENTO PLANAR DE ROCAS</p> <p>En la margen izquierda del río Jequetepeque</p> |  <p>DESLIZAM. ROTACIONAL DE SUELOS</p> <p>En la margen derecha del río Mantaro sector Mayunmarca</p> |
| FLUJOS |  <p>FLUJO DE BARRO</p> <p>En la margen izquierda del río Cañete en el curso medio</p> |  <p>ALUD DEL HUASCARAN Hielo, rocas y barro</p> <p>YUNGAY</p> <p>RANRAHIRCA</p> |

ILUSTACION N° 10

GPS DE TIPO MANUAL

Marca Garmin



Fuente Manual de GPS, Garmin, USA

2. 3 INVESTIGACIONES DE LABORATORIO

Las muestras de rocas que no se han podido identificar en el campo son enviadas a un Laboratorio de Petrografía Microscópica a fin de determinar su litología e incluso el grado de alteración de sus minerales constituyentes que nos da una idea de la calidad de la roca.

2. 4 TRABAJOS DE GABINETE DESPUES DEL TRABAJO DE CAMPO

2. 4. 1 Plano y Perfil Geológico

El Ing. Geólogo personalmente debe preparar tanto el borrador del plano geológico del área del proyecto como un perfil geológico que siga el eje del trazo de la línea de transmisión posteriormente debe asesorar y revisar la

preparación del plano y perfil geológico finales que un dibujante en AutoCAD los termine.

2. 4. 2 Texto del Capítulo de Geología

Sobre la base de las informaciones geológicas de campo, de laboratorio y fotogeológicas se redacta el capítulo sobre los estudios geológicos del proyecto. Luego de hacer la descripción de la Geología Regional viene la descripción de la geología local del trazo de los tramos en rocas y suelos siguiendo las progresivas del trazo.

La descripción comprende para las rocas: pendiente de la ladera, litología, rasgos estructurales, presencia de problemas geodinámicos y estabilidad del tramo. La descripción para los tramos en depósitos cuaternarios es semejante. Se termina con una lista de los puntos propuestos para la excavación de calicatas para estudios de mecánica de suelos.

2. 4. 3 Información Sobre el plano geológico y el plano geotécnico

Cuando se trabaja un proyecto de línea de transmisión de gran extensión es preferible elaborar por separado los planos geológico y geotécnico. Pero cuando el proyecto es pequeño se acostumbra a elaborar un solo plano geológico-geotécnico que contiene tanto datos geológicos como geotécnicos.

2.5 Los Parámetros Geológicos en la Definición de la Cimentación de las Estructuras de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica

Los parámetros geológicos son también importantes en la definición de las condiciones de cimentación de las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica. Los parámetros geológicos y los geotécnicos conjuntamente brindan la información necesaria para definir las condiciones

de cimentación de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica. La relación de los parámetros geológicos presentada en el ítem 2.5.1 nos indica cuanta información útil representa. El autor considera que en la definición de la cimentación de las estructuras de las líneas de transmisión de energía eléctrica en primer lugar se indican los parámetros geotécnicos pero los parámetros geológicos también son útiles y deben ser considerados en todo estudio de proyecto de líneas de transmisión de energía eléctrica.

2.5.1 Relación de los principales Parámetros Geológicos útiles en la Definición de la Cimentación de las Estructuras de Líneas de Transmisión

- A) Características geológicas de los tipos de suelos y rocas en el trazo de la línea de transmisión.
- B) Condiciones hidrogeológicas de los suelos y rocas en el trazo de la línea de transmisión.
- C) Naturaleza y Condición de Actividad de Problemas Geológicos:
 - a. Fallas: tipo y extensión
 - b. Problemas de estabilidad de laderas: tipos (caída de rocas, deslizamientos de rocas y suelos y flujos o huaycos) y extensión.
 - c. Problemas de drenaje: Tipos (inundaciones y aluviones) y extensión.
- D) Condiciones de Riesgo Sísmico

2.5.2 Obtención de los Parámetros Geológicos útiles en la definición de la cimentación de las estructuras de líneas de transmisión.

Para la obtención de la información de los parámetros geológicos indicados en el párrafo 2.5.1 como A, B y C se debe realizar un mapeo de Geología General y Geología Ingenieril a lo largo del trazo de la línea proyectada.

Si la información sobre problemas geológicos indicara que esta perjudica un amplio tramo de la línea proyectada se debe considerar un cambio del trazo en el tramo afectado.

La evaluación del parámetro D que se refiere al riesgo sísmico debe tenerse en cuenta en primer lugar ubicar el trazo del proyecto en el Mapa de Regionalización Sísmica por Intensidades del Instituto Geofísico del Perú mostrado en la ilustración nº 5 de la tesis presente, en donde se puede deducir que en la Costa es donde la intensidad es mayor, la intensidad es media en la sierra central y selva alta; por último en la Selva Baja la intensidad es baja. Posteriormente se puede hacer estudios más detallados. Indudablemente de que todos los proyectos en zona de costa deben hacerse con el mayor cuidado en cuanto a sus condiciones de cimentación por qué se puede esperar sismos de alta intensidad.

CAPITULO 3.0 METODOLOGIA PARA LAS INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

3.1 INTRODUCCION

Muchas veces el trazo de una línea de transmisión de energía eléctrica se hace en tramos sobre suelos y rocas teniendo en consecuencia que cimentarse sus estructuras (postes y/o torres) unas veces en suelos y otras en rocas. Teniendo en cuenta que los suelos y las rocas tienen características geotécnicas diferentes a continuación las describiremos por separado.

3.1.1 Características Geotécnicas Generales de los suelos

Para tener un conocimiento geotécnico general de los suelos con la finalidad de definir la cimentación de sus estructuras (postes y torres) en primer lugar debemos tener un conocimiento de la mecánica de Suelos que le sea útil y en segundo lugar tener un conocimiento claro de sus aplicaciones ingenieriles con énfasis en la ingeniería de cimentaciones superficiales para las estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica.

A) Características Generales de Mecánica de Suelos

A continuación mencionamos algunos conocimientos de Mecánica de Suelos que son muy útiles en Ingeniería de Cimentaciones. En primer lugar la descripción granulométrica de las muestras de suelos y su designación en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de acuerdo a sus proporciones de arcilla, limo, arena y grava.

Otro parámetro importante es definir los límites de Atterberg en los suelos finos. Otros aspectos son determinar su grado de permeabilidad y presencia de agua. Otros parámetros son su densidad natural y grado de consolidación. Otro detalle importante es conocer el origen geológico del

suelo. Estos son solo algunos parámetros que se definen en el campo y en el laboratorio.

B) Características Generales de Ingeniería de Cimentaciones en Suelos.

Mediante los estudios de campo y laboratorio de las muestras representativas de suelos siguiendo el trazo de la línea de transmisión en calicatas también representativas. Se hace la descripción de la estratigrafía para todas las calicatas y así poder tener el perfil estratigráfico de toda la línea. Con estudios geológicos previos más el perfil estratigráfico de toda la línea se efectúa la zonificación geotécnica respectiva que debe comprender zonas con suelos y rocas de la línea.

A continuación se efectúan los estudios de Mecánica de Suelos para determinar la capacidad portante de las diferentes zonas con suelos. Por ultimo con estos datos y la información anterior conseguida se procede a efectuar los Diseños de la Cimentación para cada una de las zonas con suelos.

Teniendo en cuenta la presencia de variedades de suelos (arcillas, limos, arenas y gravas) y la presencia de agua sea subterránea o superficial se diseñan los diferentes tipos de cimentaciones superficiales (zapatas, lozas, etc.). Cuando el suelo puede ser muy débil a gran profundidad a veces se diseñan cimentaciones profundas del tipo pilotes.

3.1.2 Características Geotécnicas Generales de las Rocas

Un estudio geotécnico de los tramos con rocas de un trazo de una línea de transmisión de energía eléctrica, en primer lugar requiere contar con un mapeo estructural de dichos tramos y luego preparar el plano de Geología Estructural de todos los tramos con roca, presentándose la información global geo estructural mediante la roseta en donde se vea las principales familias de discontinuidades sean fallas o fracturas.

A continuación se debe hacer una evaluación de la calidad de la roca de los diferentes tramos aplicando el índice del Método Bieniawski. Como es conocido este método de evaluación de la calidad de la roca está basado en la valoración de los siguientes parámetros:

- . Resistencia de la roca a la compresión simple de muestra inalterada
- . RQD (Rock Quality Designation) el RQD de un tramo de roca es su % de rocas sana sin roca muy fracturada y alterada.
- . Espaciamiento de discontinuidades
- . Estado de fisuras
- . Presencia de aguas subterráneas

Cada parámetro obtiene una calificación numérica y luego se suman los valores numéricos de los parámetros que es el resultado de la calificación de la calidad de la roca. Se puede hacer esta evaluación de cada tramo con roca de la línea de transmisión.

Posteriormente esos resultados servirán para completar la zonificación geotécnica iniciada con los suelos.

Las diferentes calidades de las rocas indican diferente tipos de cimentación a realizarse.

3.1.3 Naturaleza de la Cimentación

Como lo ha dicho M. Delgado (Ingeniería de Cimentaciones 1999, Colombia) las cargas sobre las estructuras y su peso propio se pueden concebir en el diseño como un conjunto de fuerzas que es siempre necesario transmitir o trasladar a los suelos o rocas, las que resultaran afectadas por los cambios de esfuerzos y cuya respuesta es determinante principal de la estabilidad y el funcionamiento de las obras.

Esto se logra por medio de un sistema de soporte integrado por un elemento estructural de transición y el suelo portante que son interactuantes.

El autor citado considera que es un error al considerar a la cimentación solo el elemento estructural de soporte y que en la ingeniería geotécnica el sistema de soporte de la cimentación comprende:

- A) Las cargas que son dos: las cargas de la estructura de cimentación y las cargas sobre la estructura de cimentación.
- B) La estructura de la cimentación
- C) El suelo o roca afectada por las cargas

Las cargas que se trasladan de la estructura de cimentación al suelo atraviesan dos medios cuyas propiedades mecánicas son diferentes. Para lograr condiciones compatibles en los esfuerzos y deformaciones se requiere hacer el diseño del cimient o elemento de transición en función de las propiedades de ambos medios.

El apoyo directo de una estructura rígida sobre el suelo producirá deformaciones del suelo que pueden ser excesivas. Para que la estructura se mantenga estable es preciso disponer de un elemento intermedio capaz de amortiguar las deformaciones. Los cimientos realizan esta función vital siempre que se busque el tipo más conveniente apropiado para cada combinación particular estructura-suelo.

De todo lo expuesto se deduce la necesidad de investigar la capacidad portante del suelo y con el conocimiento de las cargas que debe soportar se debe diseñar el tipo de cimentación acorde con la finalidad de que no se produzcan deformaciones en el suelo, principalmente asentamientos de tal magnitud que causen la inestabilidad d la obra. Al respecto debe tenerse presente de que la completa eliminación de los asentamientos no es un objetivo práctico en el diseño de cimentaciones. Más bien se debe afirmar que una función esencial de la cimentación es la de evitar que los asentamientos superen límites tolerables fijados al considerar las condiciones de funcionalidad de la estructura.

3.1.4 Clases de Cimentaciones

Las cimentaciones de acuerdo a la profundidad en que se halle sea en suelo o roca se clasifican básicamente en cimentaciones superficiales y profundas.

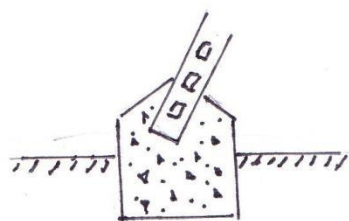
A) Cimentaciones Superficiales

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma 050 para Suelos y Cimentaciones una cimentación superficial es aquella en donde la relación D_f/B es igual o menor de 5, siendo D_f la profundidad de la cimentación y B el ancho de la misma. Los principales tipos de cimentaciones aplicados a líneas de transmisión son los siguientes:

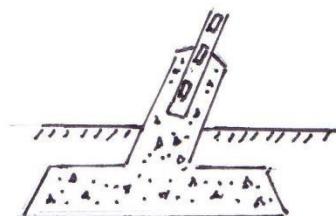
- a) Cimentaciones de concreto.-** Se aplica generalmente para los casos de terrenos químicamente agresivos o donde el nivel de la napa freática está más alta de la base de cimentación. Para los postes la base es estrecha y normalmente monolítica mientras que las torres de amplia base son con patas separadas.

La separación monolítica para postes puede ser o no con ensanchamiento en la base. Puede ser de base cuadrada en forma de pirámide con una chimenea superior para empotrar el poste o perfil de la torre

ILUSTRACION N° 11



Cimentación monolítica



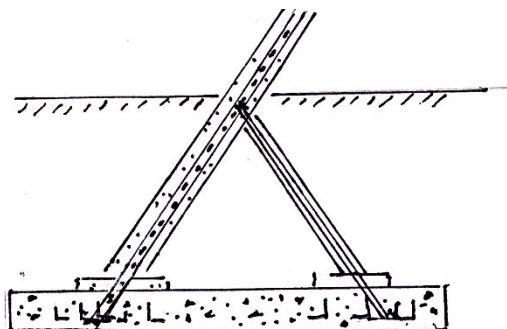
Cimentación monolítica
con ensanchamiento en la base

CIMENTACIONES MONOLITICAS

Fuente Cumpa A. Tesis UNI, 1993

Cuando la cimentación es difícil de empotrar por la presencia de agua la cimentación puede apoyarse sobre un pilote. La cimentación con patas separadas que son para torres de alta tensión puede realizarse con bloques de concreto de forma cilíndrica con base ensanchada cuando el terreno no es demasiado duro.

b) Cimentaciones de Enrejado Metálico.- Se emplea como una variante de la cimentación de concreto excepto en los terrenos químicamente agresivos o donde el nivel de la capa freática está más alta de la base de cimentación. El área de la base superficial metálica no debe ser inferior a la mitad de la superficie total de la base. Para este tipo de cimentación de enrejado metálico son diseñados de conformidad a las prescripciones relativas a torres. Cuando se teme corrosión del enrejado o emparrillado son sumergidos en un chorro de concreto. La disposición de este tipo se ve en el siguiente grafico

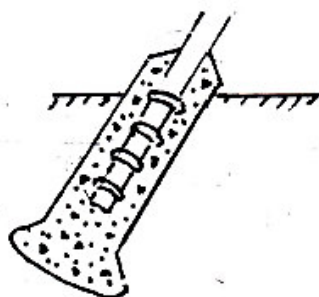


ILUSTRACION N° 12
CIMENTACION DE ENREJADO METALICO

Fuente Cumpa A. Tesis UNI, 1993

c) Cimentación en roca.- Para la cimentación en roca con estratificación horizontal y compacta (sin fisuras) las montantes de la torre o el poste se empotran directamente en hoyos excavados en la roca, puede llevar anclajes de hasta 3 m. c/u en direcciones divergentes. Las patas se colocan en una masa de concreto convenientemente armado. La parte superior del macizo de concreto deberá sobresalir por lo menos 20 cm. del nivel del terreno y será perfilado. Ver la figura siguiente:

ILUSTRACION N° 13 CIMENTACION EN ROCA



Fuente Cumpa A. Tesis UNI, 1993

B) Cimentaciones Profundas

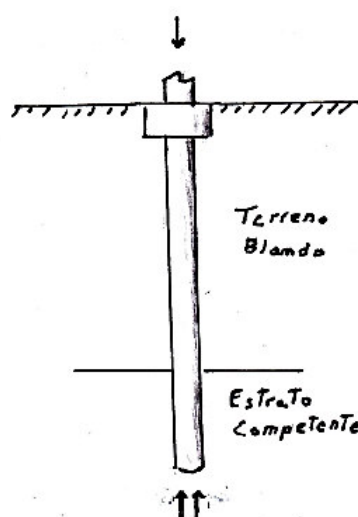
Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma 050 de Suelos y Cimentaciones, una cimentación profunda es aquella en donde la relación D_f/B es mayor a 5 siendo D_f la profundidad de la cimentación y B el ancho o diámetro de la misma. Cuando la presión transmitida al subsuelo sobrepasa la capacidad de carga de este es evidente que habrá que recurrirse a soportar la estructura en estratos de suelos a mayor profundidad, llegándose así a tratar este tipo de cimentaciones. Entre las cimentaciones profundas adecuadas a estructuras de líneas de transmisión se hallan los pilotes.

Cimentaciones profundas con pilotes.- La cimentación profunda mediante pilotes se deben dimensionar en general de tal forma que las cargas sobre la estructura se transmitan al terreno de cimentación únicamente a través de los pilotes. Dentro de una cimentación de patas separadas se deben utilizar las mismas funciones estáticas (por ejemplo transmisión de carga, de tracción o compresión) pilotes que debido a su procedimiento constructivo o bien su ubicación y material presentan aproximadamente las mismas características de deformación y asentamiento. Los pilotes deben tener una longitud

mínima de 6 m. y estar hincados por lo menos 3 m. en terreno resistente.

A partir de los años 50 del siglo pasado fue introducido en Francia el denominado pilote Müeller que posee un núcleo metálico y está rodeado por inyecciones de mortero exterior. El desarrollo del pilote Müeller condujo a la implementación de pilotes con crecientes secciones de 250 a 450 mm. los cuales son costosos.

ILUSTRACION N° 14 CIMENTACION CON PILOTE



Fuente Gonzales de Vallejo 2002

3.1.5 Elementos de la línea de Transmisión

A) Premisas Básicas para el trazo de la línea de transmisión

En el trazo definitivo de la línea de transmisión debe tomarse en cuenta las siguientes premisas indicadas por CUMPA A. Tesis UNI 1993:

- a) Aprovechar los accesos existentes tales como carreteras, trochas y Caminos adyacentes al trazado de la línea de transmisión.
- b) Fácil acceso para la construcción y mantenimiento

- c) Elegir una poligonal con el menor número de vértices
- d) Tener en cuenta los aspectos geomorfológicos y geológicos
- e) Evitar acercamientos o cruces con zonas arqueológicas
- f) Cruzar ríos por zonas con ancho mínimo y en puntos altos
- g) Debe haber visibilidad permanente de la línea

B) Clasificación de las líneas de transmisión

Las líneas son por la vía aérea y se clasifican por la tensión conducida en:

Primera Categoría.- Son aquellas cuya tensión nominal es superior a 66 kV.

Segunda Categoría.- Son aquellas cuya tensión nominal está comprendida entre 66 kV. Y 30 kV. Ambas inclusive

Tercera categoría.- Son aquellas cuya tensión nominal es inferior a 30 kV. E igual o superior a 1 kV.

El cuadro siguiente nos da una mejor visión de las 3 categorías:

| <u>CATEGORIA DE LA LINEA</u> | <u>TENSION EN kV.</u> |
|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 _a | 220, 138, 132 |
| 2 _a | 66, 60, 45, 45 |
| 3 _a | 20, 15, 10, 6, 3 |

Si se considera necesaria la adopción de una tensión superior a 220 kV. de acuerdo a las recomendaciones de organismos técnicos internacionales y el criterio existente de países limítrofes deberá justificarse de modo adecuado la elección del mismo

C) Elementos de la línea de transmisión

Las líneas de transmisión generalmente se hallan compuestas de los siguientes elementos: el conductor, el cable de tierra, los herrajes, los aisladores y las torres o postes según CUMPA A. Tesis UNI. Describamos brevemente c/u de ellas.

a) El conductor.- El conductor puede ser de cualquier material metálico o combinaciones de estos que permitan construir cables con características eléctricas y mecánicas adecuadas para su fin y deben tener una alta resistencia a la corrosión atmosférica.

b) El cable de tierra.-El cable de tierra sirve para la protección de la línea. Los cables de tierra que se usan deberán estar conectados en cada torre directamente al mismo.

c) Los herrajes.- Se consideran herrajes a todos los elementos utilizados para la fijación de los aisladores al apoyo y al conductor, los de fijación del cable de tierra al apoyo, los elementos de protección eléctrica de los aisladores de los aisladores y finalmente los accesorios del conductor.

d) Los aisladores.-Los conductores se montan en las torres o postes por intermedio de aisladores que podrán ser de porcelana, vidrio u otro material de características adecuadas a su función. El aislador debe cumplir su objetivo principal: de no dejar pasar la corriente del conductor a la torre o poste.

e) Las torres o postes.- Constituyen un elemento indispensable en la construcción de la línea de transmisión. Los conductores de la línea se fijaran a las torres o postes mediante los aisladores y los cables de tierra de modo directo. Las torres y postes también se denominan apoyos y pueden ser metálicos, de concreto, madera u otro material apropiado.

Los materiales empleados en la construcción de los apoyos deberán ser muy resistentes a la acción destructiva de los agentes atmosféricos.

La estructura de los apoyos deberán ser tomando en cuenta la accesibilidad a todas sus partes por el personal técnico especializado para su inspección y conservación. Ver ilustraciones adjuntas.

3.1.6 Clasificación de Postes y Torres para la línea de transmisión

Tomando en cuenta las diferentes características eléctricas, mecánicas, topográficas, estructurales etc. existen diversos tipos de torres y postes los cuales nos permiten efectuar la siguiente clasificación de los apoyos:

A) Por la función que cumplen

a) Apoyo de alineamiento o suspensión.- Sirven solo para sostener los conductores y cables de tierra, debiendo ser empleados únicamente en alineación recta.

b) Apoyo de Ángulos.- Se utilizan para mantener los conductores y cables de tierra en los vértices de los ángulos que forman dos alineaciones. Estos apoyos soportan una desviación máxima de 30 grados.

c) Apoyos de anclaje.- Son los apoyos de ángulo excepcional y que proporcionan puntos firmes en la línea que lo precise. Su desviación máxima es hasta 60 grados.

d) Apoyos de fin de línea.- Son aquellos que deben resistir en sentido longitudinal de la línea la sollicitación de todos los conductores y cables de tierra. Soporta una desviación máxima de 90 grados.

e) Apoyos especiales.- Son aquellos que tienen una función diferente a los expuestos.

B) Por el material que están hechos

a) Apoyos metálicos.- Dentro de este grupo están principalmente las torres que son estructuras auto-soportantes de tipo celosía con perfiles angulares de acero galvanizado con pernos y tuercas.

b) Apoyos de concreto.- Son principalmente postes. En todos los apoyos de concreto pre-fabricado deben revisar la presencia de grietas como garantía de impermeabilidad.

c) Apoyos de madera.- Se emplearán tipos de madera adecuados como el eucalipto, la acacia, el castaño, el pino y el abeto. Las fibras de la madera deben ser rectas y sin nudos.

C) Por la geometría

a) Apoyo tipo triángulo.- Se usa en líneas de transmisión de un circuito y por lo general se usan para terrenos accidentados.

b) Apoyo tipo pino.- Se emplean en líneas de transmisión de 1 a 2 circuitos.

c) Apoyo tipo bandera.- Se usa en líneas de transmisión de 1 circuito y se aplica para terrenos accidentados.

Para la transmisión de líneas de muy alta tensión hay otras estructuras de geometría más compleja. Ver ilustraciones adjuntas.

3.1.7 Los cables de viento o retenidas

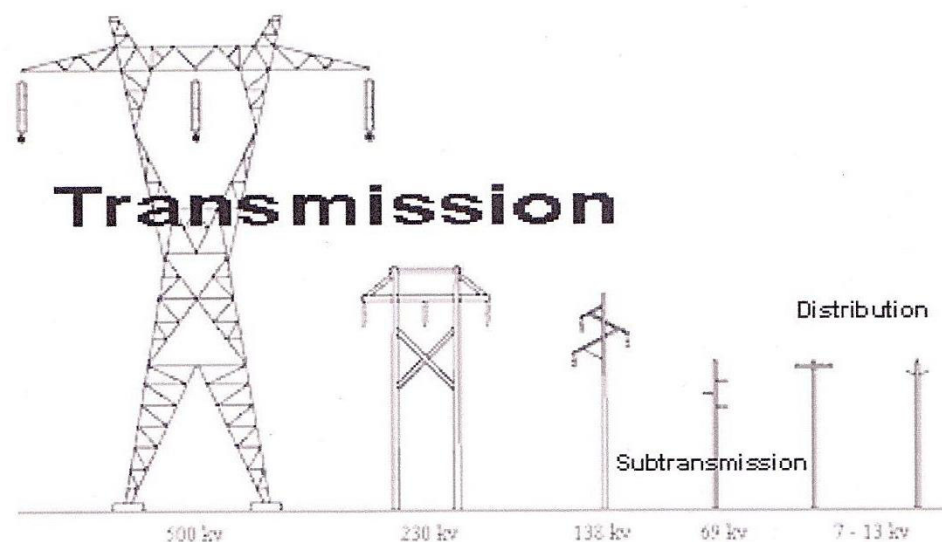
La mayoría de las torres de líneas de transmisión son autosostenidas y no necesitan llevar cables de viento.

Los cables de viento o retenidas son más adecuados para los postes de líneas de transmisión los que le ayudan a su estabilidad.

Un poste puede llevar 1 o 2 cables de viento. Cuando la trayectoria de la línea de transmisión es recta entonces los cables de viento se ubican en forma perpendicular a ella y el ángulo vertical entre el cable de viento y la superficie del suelo debe ser de 60 grados. En el caso que la trayectoria de la línea de transmisión forma un ángulo horizontal en el poste, la ubicación de los cables de viento deben ir en el costado del ángulo externo del vértice en el poste.

La información de este tema ha sido tomado principalmente de la obra *Sistemas de Transmisión y Distribución de Potencia Eléctrica* de Enriquez Harper G., Limusa, Mejico, 2005.

ILUSTRACION N° 15 TORRES Y POSTES DE TRANSMISION

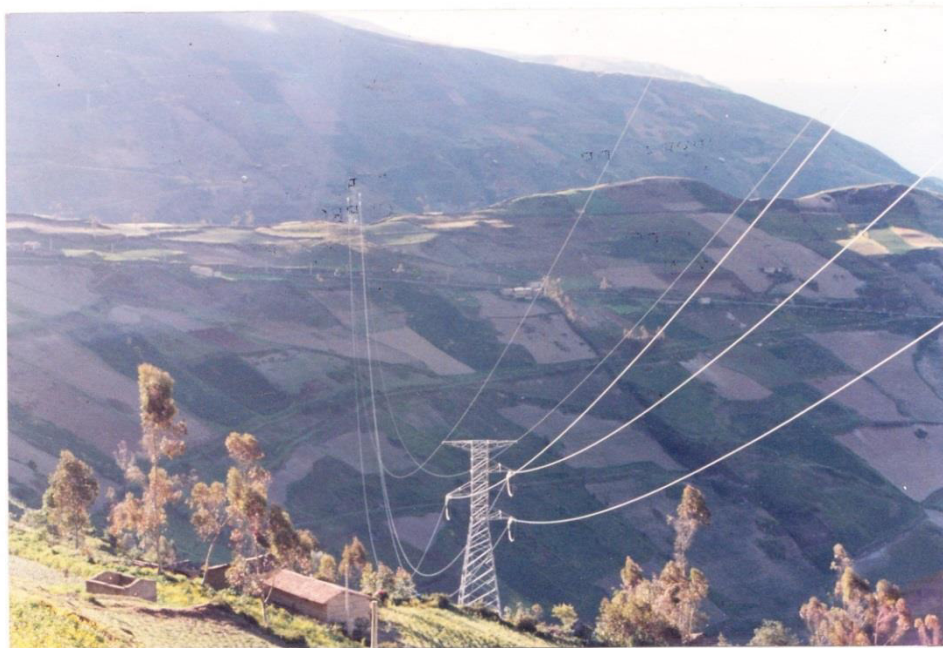


TORRES Y POSTE DE TRANSMISIÓN DE 500, 230 y 138 kV,
 POSTE DE SUB-TRANSMISIÓN DE 69 kV y
 POSTES DE DISTRIBUCIÓN DE 13-7 kV

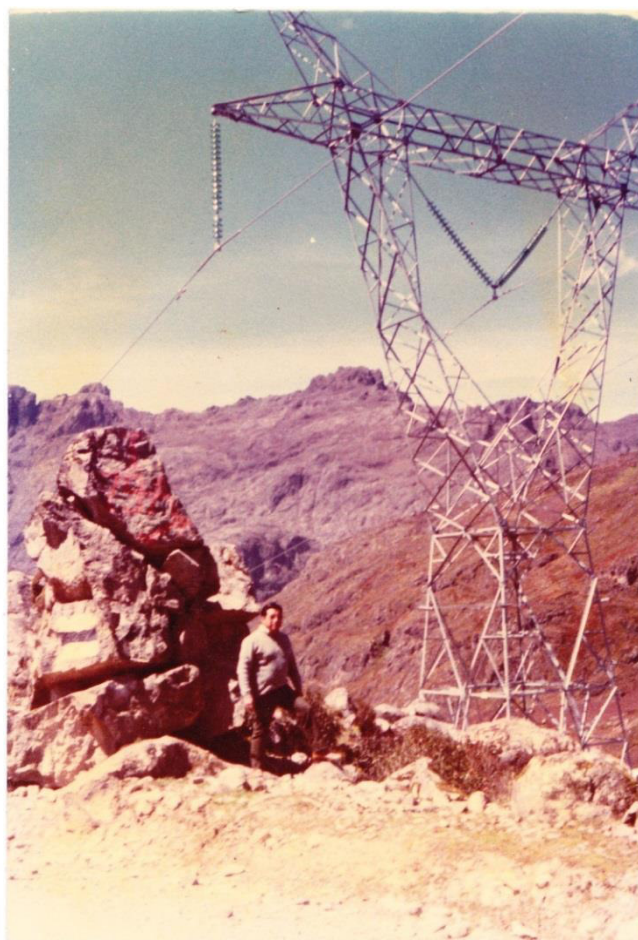


TORRE DE TRANSMISION DE MADERA TIPO H

Fuente: Diversos Proyectos de Electroperú



TORRE DE TRANSMISION DE METAL TIPO SIMPLE DE CELOSIA



TORRE DE TRANSMISION DE METAL
TIPO DELTA DE CELOSIA

3.2 INVESTIGACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO

3.2.1 Investigaciones de Campo

A) En suelos

a) Calicatas, su descripción estratigráfica y SUCS

Las calicatas son excavaciones manuales en el suelo con una profundidad promedio de 2.00 m. que se hacen en diferentes puntos con suelos a lo largo de un trazo de línea de transmisión proyectado. Su ubicación en cada depósito de suelo se hace eligiendo un lugar representativo para todos los depósitos con suelos.

Su objeto es conocer en forma directa la naturaleza del suelo para la cimentación de estructuras de la línea de transmisión. En cada lugar hay una secuencia de suelos y cada una de las capas presenta diferente granulometría, consistencia, permeabilidad, etc. El geotécnico debe observar y anotar directamente las diferentes características y estimar su nomenclatura SUCS de cada capa, debe disponer el muestreo para su análisis granulométrico detallado en laboratorio. Se debe preparar un perfil de la estratigrafía de cada calicata. Para cada tipo de suelo se debe aplicar la simbología adecuada. Es conveniente utilizar el cuadro de simbología de suelos y SUCS que se halla en la norma 0.50 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. Se adjunta tal simbología perteneciente a la edición 2006 del reglamento indicado. Generalmente se preparan muestras para laboratorio de los diferentes estratos con suelos de una determinada calicata.

b) Muestreo de suelos inalterados y disturbados

El muestreo de suelos inalterados no siempre se ha podido obtener por diversas causas. Entonces no queda sino llevar muestras disturbadas, las

cuales puede tomarse en bolsas impermeables para conocer la humedad que tiene al pesarse primero con su humedad natural y luego secarla al horno y volver a pesar para conocer su % de humedad.

Las muestras inalteradas se obtienen generalmente conservando su estructura original. Se puede obtener de dos formas: una mediante su obtención de bloque cubico tallado dentro de la calicata luego se coloca una caja de madera que la entalla y con su fondo de 2 cm. de espesor de cera blanda, se voltea la caja y luego se llena con cera por los costados y por ultimo antes de taparla con la madera se pone también cera. De esta manera la muestra se mantiene cubierta por todos sus lados y forrado con madera. Otro método de conseguir muestra inalterada es usando un tubo de acero galvanizado en donde se introduce la muestra y en ambos extremos se coloca un tapón de madera previamente protegido con cera.

1986)

ILUSTRACION N° 16
SIMBOLOGIA DE SUELOS
SUCS

| DIVISIONES MAYORES | | SÍMBOLO | | DESCRIPCIÓN |
|----------------------------|----------------------------|---------|---------|------------------------------------------------------|
| | | SUCS | GRÁFICO | |
| SUELOS GRANULARES | GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS | GW | | GRAVA BIEN GRADUADA |
| | | GP | | GRAVA MAL GRADUADA |
| | | GM | | GRAVA LIMOSA |
| | | GC | | GRAVA ARCILLOSA |
| | ARENA Y SUELOS ARENOSOS | SW | | ARENA BIEN GRADUADA |
| | | SP | | ARENA MAL GRADUADA |
| | | SM | | ARENA LIMOSA |
| | | SC | | ARENA ARCILLOSA |
| SUELOS FINOS | LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50) | ML | | LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD |
| | | CL | | ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD |
| | | OL | | LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD |
| | LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50) | MH | | LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD |
| | | CH | | ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD |
| | | OH | | LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD |
| SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS | | Pt | | TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS. |

Fuente: Reglam. Nac. de Edif., 2006

ILUSTRACION N° 17

Perfiles de CalicatasSistema Eléctrico Rural Pallasca-Santiago de Chuco II
Registro de excavación

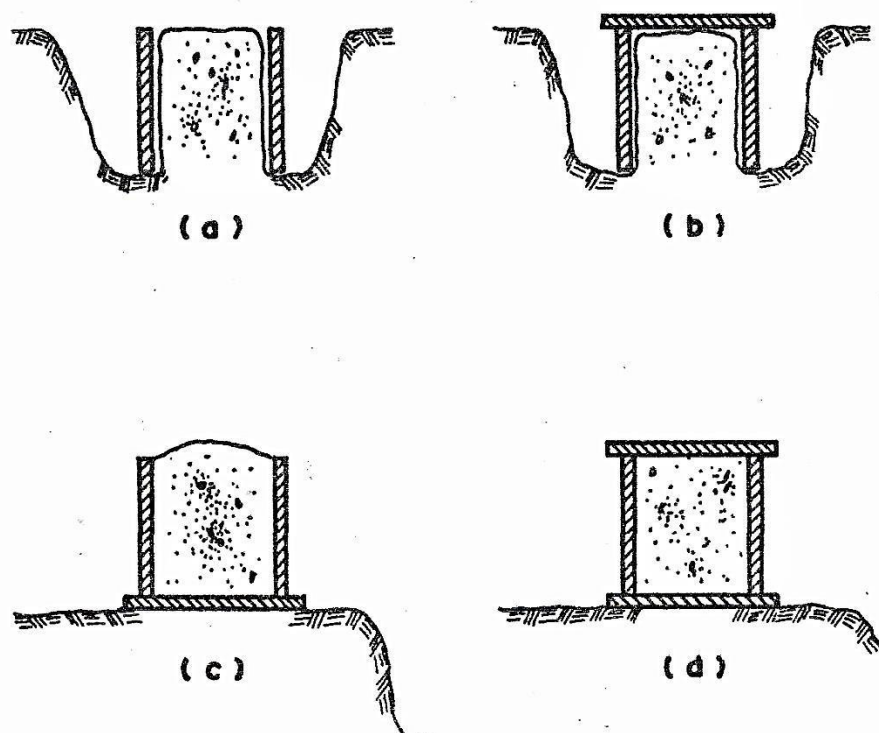
| | | | |
|---------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|
| Estructura Principal: | Derivación | Altitud: | 3150 m.s.n.m. |
| | Aracabo | UTM: | 829,400 E y 9'070,700 N |
| Calicata C-1, Muestra C-1 | | Cuadrángulo: | Santiago de Chuco |
| Dimensiones: | 1.0 x 1.5 m | Nivel Freático: | No hay |
| Profundidad: | 2.0 m | Ejecutantes: | Usuarios |
| Fecha: | 14 Set 2008 | Supervisado: | Ing. E. Suyo R. |

| Profundidad m | Muestra | SUCS | Trama | Nivel Freático | Características del material de cimentación |
|------------------|---------|------|-------|----------------|---------------------------------------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | OH | | No hay | Suelo Orgánico: arcilla marrón con raicillas, poco permeable. |
| 0.30 | 0.30 | | | | SC |
| 1.0 | C-3 | | | | |
| 2.0 | 2.0 | | | | |

Sistema Eléctrico Rural Pallasca-Santiago de Chuco II
Registro de excavación

| | | | |
|---------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| Estructura Principal: | Suelos similares | Altitud: | 3129 m.s.n.m. |
| a la Derivación Casapampa en S. Chuco | | UTM: | 812,000 E y 9'099,000 N |
| Calicata C-2, Muestra C-2 | | Cuadrángulo: | S. de Chuco |
| Dimensiones: | 1.0 x 1.5 m | Nivel Freático: | No hay |
| Profundidad: | 2.0 m | Ejecutantes: | Usuarios |
| Fecha: | 15 Set 2008 | Supervisado: | Ing. E. Suyo R. |

| Profundidad m | Muestra | SUCS | Trama | Nivel Freático | Características del material de cimentación |
|------------------|---------|-----------------------------|-------|----------------|----------------------------------------------------------------|
| 0.0 | 0.0 | OH | | No hay | Suelo Orgánico: Arcilla marrón, hay raicillas, poco permeable. |
| 0.30 | 0.30 | | | | CL |
| 1.0 | C-4 | Depósito de origen residual | | | |
| 2.0 | 2.0 | | | | |



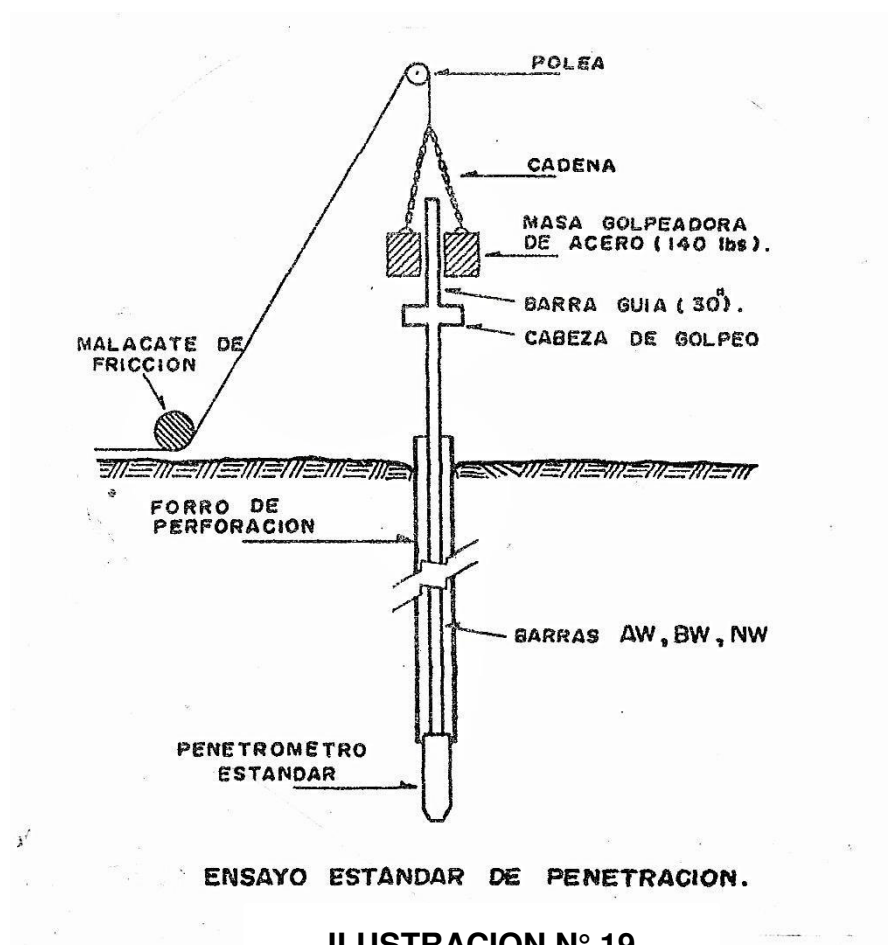
ILUSTRACION N° 18

**PROCEDIMIENTO DE OBTENCION
DE MUESTRAS CUBICAS.**

Fuente: Seminario Comité Peruano de Mecánica de Suelos 1986

El ensayo “in situ” de penetración normal en suelos (SPT)

Este ensayo catalogado como ASTM-D-1586 denominado en ingles Standard Penetration Test se realiza mediante un aparato en donde se debe dejar caer un martillo de 63.5 Kg. una altura de 76 cm., el número de golpes N necesarios para producir una penetración de 30 cm. en el suelo una barra metálica con muestreador se considera la resistencia a la penetración. Los golpes de los primeros 15 cm. de penetración no se toman en cuenta; los necesarios para aumentar la penetración de 15 a 45 cm. constituyen el valor de N.



Fuente: Seminario Comité Peruano de Mecánica de Suelos 1986

Los valores de N golpes ha sido correlacionado con algunas propiedades de los suelos granulares y cohesivos.

El ensayo Estándar de Penetración (o SPT por sus siglas en inglés) , es un ensayo relativamente sencillo, muy estudiado desde que comenzó a ser utilizado, y para su interpretación existe una serie de tablas que relacionan sus resultados tanto con la densidad relativa en arenas como la resistencia a la compresión simple en suelos cohesivos (ver cuadros 1 y 2)

CUADRO 1 - INTERPRETACION DEL ENSAYO DE PENETRACION

| <u>Suelos cohesivos</u> | | |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| <u>Consistencia</u> | <u>N (golpes / 30 cm)</u> | <u>q_u (kg / cm²)</u> |
| Muy Blanda | < 2 | < 0.25 |
| Blanda | 2 - 4 | 0.25 - 0.50 |
| Medianamente compacta | 4 - 8 | 0.50 - 1.00 |
| Compacta | 8 - 15 | 1.00 - 2.00 |
| Muy compacta | 15 - 30 | 2.00 - 4.00 |
| Dura | > 30 | > 4.00 |

N = resultado del ensayo SPT

q_u = resistencia a la compresión no confinada

CUADRO 2 - INTERPRETACION DEL ENSAYO DE PENETRACION

| <u>Suelos no cohesivos *</u> | |
|------------------------------|---------------------------|
| <u>Densidad relativa</u> | <u>N (golpes / 30 cm)</u> |
| Muy suelta | < 4 |
| Suelta | 4 - 10 |
| Medianamente densa | 10 - 30 |
| Densa | 30 - 50 |
| Muy densa | > 50 |

N = resultado del ensayo SPT

***** Válido para 7.5 m de profundidad aproximada

El cuadro 1 correlaciona los números N de golpes con la resistencia a la compresión Q_u (kg/cm²). Estos valores son relativamente válidos.

El cuadro 2 correlaciona los números N de golpes con la densidad relativa de suelos no cohesivos como las arenas, etc. Estos valores son bastante seguros.

Los cuadros 1 y 2 de interpretación de Ensayo de Penetración han sido tomados del trabajo "Exploración de Suelos" del Ing. Roberto Michelena

presentado en el Seminario DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES del Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Mecánica de Rocas en Lima en 1986.

Existen otros parámetros que pueden influenciar los resultados de los ensayos SPT como son la profundidad del ensayo y la presencia de agua subterránea.

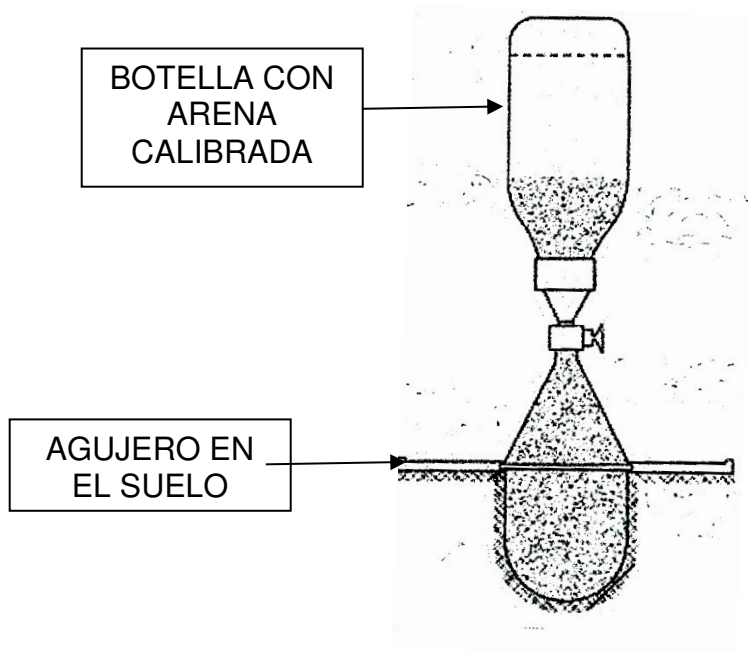
Peck et al (1967): señala en modo general: la prueba de penetración estándar no puede considerarse como método refinado y completamente seguro de investigación, los valores de N dan útiles indicaciones preliminares de la consistencia o compacidad relativa de la mayor parte de los depósitos de suelos. En cualquier caso proporciona datos para hacer una planificación más racional de las exploraciones adicionales.

El ensayo “in situ” con el cono de arena para determinar la densidad natural de un suelo

Este ensayo se halla registrado como ASTM D1556-90 y se usa para determinar “in situ” la densidad natural de cualquier tipo de suelo.

Para ello se utiliza un aparato que consiste en un frasco de un galón de volumen y otra pieza formada por una válvula cilíndrica con un orificio que termina en un embudo pequeño por uno de los extremos y otro embudo más grande en el otro extremo. Además tiene una pieza libre que se llama base, el cual tiene un agujero circular. Otros elementos necesarios son una balanza de precisión, arena calibrada, cuchara para extraer la muestra y una estufa u horno.

ILUSTRACION N° 20
APARATO DEL CONO DE ARENA



Fuente: Diseño inédito Ing. Suyo

Procedimiento

Se excava un agujero pequeño en el suelo a ser ensayado. La superficie del agujero es delimitada con la base del aparato. Luego se extrae el suelo con la cuchara indicada. El suelo extraído luego es pesado, luego se somete al horno para su secado y vuelto a pesar en el caso de no contarse con el horno la muestra es llenada en una bolsa de plástico y se cierra herméticamente para llevarlo al laboratorio donde se cuente con horno. El contenido de humedad se calcula y se anota en porcentaje. El volumen del agujero se determina por la cantidad de arena calibrada que lo llena y desciende del frasco. La densidad natural del suelo muestra se determina dividiendo el peso seco de la muestra entre el volumen del agujero.

B) En rocas

a) Mapeo de Geología Estructural Ingenieril de la Línea

El mapeo geológico de los afloramientos rocosos a lo largo del trazo de una línea de transmisión es un mapeo de interés ingenieril en donde en primer lugar se debe hacer el mapeo de las diferentes unidades litológicas de las formaciones estratigráficas e intrusivos y en segundo lugar un mapeo cuidadoso y detallado de los diversos rasgos de Geología Estructural presentes.

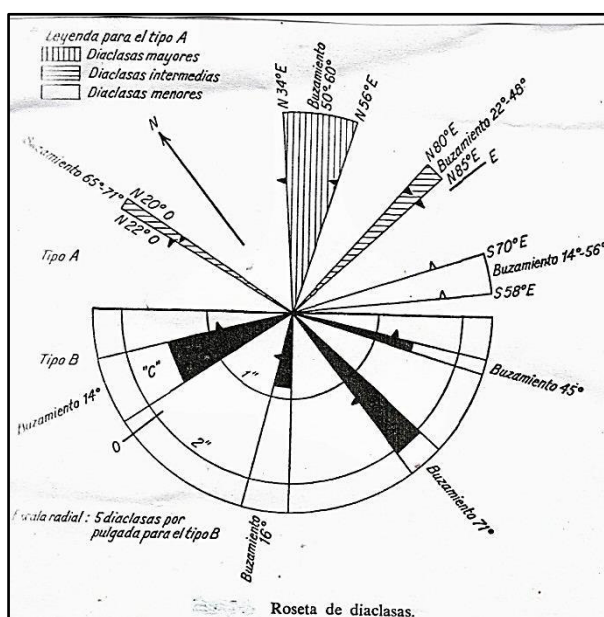
El mapeo de los rasgos de Geología Estructural es de gran importancia para evaluar la estabilidad de la cimentación de las estructuras de la línea de transmisión principalmente de las discontinuidades (fracturas y fallas). Por ello es importante hacer una representación gráfica de la Geología Estructural de discontinuidades sintetizada y que a continuación exponemos.

b) Representación gráfica de la Geología Estructural en Ingeniería Geológica de la línea

La representación gráfica de los principales rasgos de Geología Estructural para la Ingeniería Geológica de la línea son los alineamientos de discontinuidades (fracturas y fallas) se puede hacer con dos métodos: la de roseta y la representación estereográfica del ploteo de polos en la red de Lambert.

Representación con la roseta.- Se toman los datos de campo de las discontinuidades. Para cada discontinuidad (fractura o falla) se toman su rumbo y buzamiento del modo tradicional de mapeo geológico. Se van ubicando los datos en la roseta y se ve cómo se van formando agrupamientos de las líneas en la roseta. La roseta puede tener 2 tipos (ver gráfico adjunto tomado de Krynine) El tipo A se halla en la parte superior del círculo de la roseta en donde se distinguen grupos

diferenciados por franjas. El tipo B se halla en la parte inferior del círculo y los grupos se distinguen por sombreados. Para el estudio de una línea de transmisión de gran extensión pueden emplearse varias rosetas ya que los sistemas de fracturas pueden variar con la variación de la geología.



ILUSTRACION II° 21

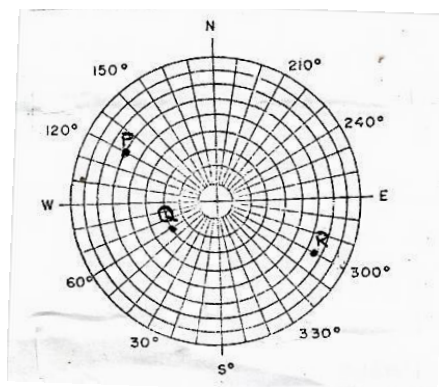
Representación estereográfica con polos.- En este método la toma de datos de cada discontinuidad es diferente al método geológico tradicional. Para cada discontinuidad en primer lugar se toma el valor angular en azimuth de la dirección del buzamiento y luego el valor del ángulo vertical del buzamiento. Los numerosos valores de todos los puntos tienen que ser ploteados en la red de proyección de Lambert cuya numeración de ángulos horizontales de azimuths se inicia en el Sur.

Cada discontinuidad lleva sus valores, por ejemplo del punto P 120/60 en donde al punto se llama polo y vemos que tiene 120 es el valor de la dirección del buzamiento y el otro valor es del ángulo vertical de buzamiento. Así representamos los 3 siguientes polos:

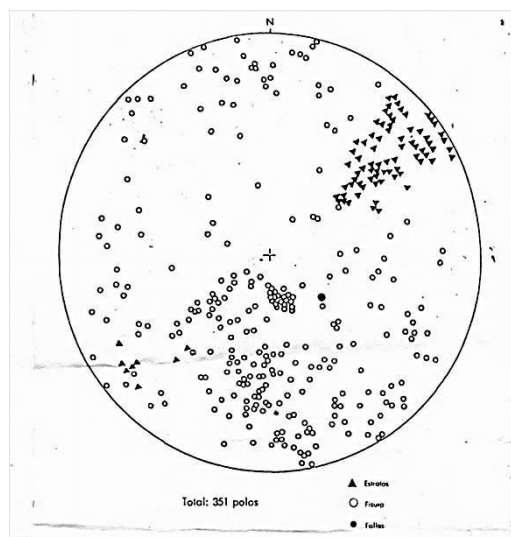
Polo P 120/60 Q 060/30 R 300/65

Estos 3 polos lo ubico en la red de Lambert con Proyección de Igual área. Cuando se toman numerosos puntos o polos estos pueden ser ubicados en la red de Lambert con el apoyo de la computadora e incluso se pueden diferenciar diferentes tipos de rasgos estructurales como lo muestra el grafico siguiente tomado de Hoek-Brown. La computadora puede también efectuar agrupamientos de polos que nos indican las tendencias principales de los rasgos de Geología Estructural como lo muestra el grafico siguiente tomado también de Hoek-Brown de su obra “Excavaciones Subterráneas en Roca”.

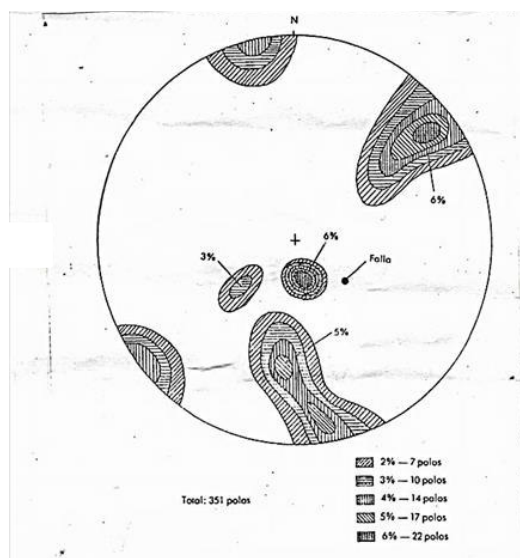
ILUSTRACION N° 22: REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA



ILUSTRACION N° 23: REPRESENTACION DE 51 POLOS



ILUSTRACION N° 24: CONFIGURACION DE LAS CONCENTRACIONES DE POLOS DE LA ILUSTRACION N° 23



c) Evaluación Geomecánica de los afloramientos rocosos en el trazo de la línea utilizando el Método RMR de Bieniawski

Aunque la cimentación en rocas de las estructuras (torres o postes) para las líneas de transmisión ofrece mayor estabilidad que en suelos en la mayoría de los casos, si uno quisiera tener un conocimiento de la valoración de la calidad de un macizo rocoso ello se podría conseguir aplicando el método RMR de Bieniawski.

Este método se ha usado con bastante éxito en la evaluación de la calidad de la roca de los testigos de perforación diamantina para proyectos de grandes túneles, sin embargo el autor considera si se aplica a los afloramientos rocosos superficiales en el trazo de una línea de transmisión puede brindarnos una evaluación cuantitativa de la calidad de la roca aflorante. El método RMR de Bieniawski; este es un método empírico basado en numerosos casos reales de túneles, galerías, taludes y cimentaciones.

Se basa en la suma de la evaluación cuantitativa de 5 parámetros:

- 1) La resistencia a la compresión simple de la roca inalterada
- 2) El RQD (Rock Quality Designation)
- 3) Espaciamiento de las discontinuidades
- 4) Estado de las fisuras
- 5) Presencia de agua subterránea

A continuación se explica un resumen de cada uno de estos parámetros.

1) Resistencia a la compresión

Se puede realizar de dos maneras: con la picota y en el laboratorio
Veamos con la picota en este cuadro:

| Resistencia | Golpes de picota |
|--------------------|----------------------------------------|
| Muy alta | Solo se astilla con varios golpes |
| Alta | Se rompe con más de 3 golpes |
| Media | Se rompe con 1 a 3 golpes |
| Baja | Se rompe superficialmente con la punta |
| Muy baja | Se rompe profundamente con la punta |

En el laboratorio de rocas se hace el ensayo de compresión uniaxial con los resultados siguientes:

| Descripción rocas | Resistencia Compresión | Ejemplos de |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| R. muy baja | 1-25 Mpa | yeso-cal |
| R. baja | 25-50 Mpa | carbón-esquisto |
| R. media | 50-100 Mpa | arenisca-pizarra |
| R. alta | 100-200 Mpa | mármol-granito |
| R. muy alta | Mayor de 200 Mpa | cuarcita-basalto |

2) RQD (Rock Quality Designation)

Es el porcentaje de trozos de testigos recuperados mayores de 10 cm. en una

Longitud total de taladro. Por ejemplo en un taladro de 110 cm. se han hallado 5 trozos de testigos mayores de 10 cm. Entonces su RQD seria:

$$RQD = \frac{\text{Suma de las long. de 5 testigos} \times 100 \%}{\text{Longitud de taladro}} = \frac{88}{110} \times 100 = 80 \%$$

TABLA DE CALIDAD DE ROCA PARA RQD

| Calidad de roca | RQD (%) |
|-----------------|---------|
| Muy mala..... | 00-25 |
| Mala..... | 25-50 |
| Regular..... | 50-75 |
| Buena..... | 75-90 |
| Muy buena..... | 90-100 |

3) Espaciamiento de las discontinuidades

Se refiere a la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Este determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado los bloques serán más grandes.

4) Estado de las fisuras

Este parámetro se mide tomando en cuenta 5 características:

- a) Persistencia.**-Es la longitud o área. Cuanto menor sea la roca será más estable.
- b) Apertura.**-Es la separación entre las paredes de la discontinuidad. A menor apertura las condiciones de la masa rocosa es más estable.
- c) Rugosidad.**-Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad.
- d) Relleno.**- Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando estos materiales son suaves la masa rocosa es menos competente y cuando estos son más duros la roca es más competente.
- e) Alteración.**- Si la discontinuidad esta inalterada tiene mayor valoración y a mayor alteración menor valor de la roca.

5) Presencia de agua subterránea

La presencia de agua subterránea es un factor negativo y su ausencia es una buena condición de la roca. Existe una **Tabla de Clasificación Geomecánica de Bieniawski, 1979** en donde se hallan calificados los diferentes parámetros indicados que se presenta en la siguiente página. Después de valorar todos los parámetros y sumados ellos se da la calificación del macizo rocoso de este modo:

| CLASE | I | II | III | IV | V |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------------|
| CALIDAD | Muy Buena | Buena | Media | Mala | Muy Mala |
| VALOR RMR | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | Menor de 20 |

CUADRO N° 03

Tabla Clasificación Geomecánica de Bieniawski 1979: Parámetros de clasificación.

| | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|------------|
| 1 | Resistencia de la roca sana | Ensayo carga puntual | > 10 MPa 100 kp/cm ² | 4 – 10 40 - 100 | 2 – 4 20 - 40 | 1 – 2 10 - 20 | Compresión Simple MPa y kp/cm ² | | |
| | | Compr. Simple | > 250 MPa >2500 kp/cm ² | 100 – 250 1000-2500 | 50 – 100 500 - 1000 | 25 – 50 250 - 500 | 5 – 25 50 - 250 | 1 – 5 10 - 50 | < 1 <10 |
| | Valoración | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | RQD % | | 90 – 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 | | |
| | Valoración | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | Separación de discontinuidades | | > 2 m | 0,6 - 2 | 0,2 – 0,6 m | 0,06- 0,2 | < 0,06 m | | |
| | Valoración | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Estado de las Diaclasas | | Muy rugosas. Discontinuas. Sin Separaciones. Borde sano y duro. | Ligeramente rugosas. Abertura < 1 mm. Bordes duros. | Ligeramente e rugosas Abertura < 1 mm Bordes Blandos | Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas | Relleno Blando > 5 mm o Abertura > 5 mm Diaclasa Continua | | |
| | Valoración | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | Agua Freática | Caudal por 10 m de túnel | Nulo | < 10 L/min | 10 – 25 L/min | 25 – 125 L/min | >125 L/min | | |
| | | Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_3 | 0 | 0 – 0,1 | 0,1 – 0,2 | 0,2 – 0,5 | > 0,5 | | |
| | | Estado general | Seco | Ligeramente e Húmedo | Húmedo | Goteando | Fluyendo | | |
| | | Valoración | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

Guía para valorar el estado de las discontinuidades (Diaclasas).

| Parámetro | Valoración | | | | |
|----------------------------------------------|------------|----------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Longitud de la discontinuidad (Persistencia) | < 1 m | 1 – 3 m | 3 – 10 m | 10 – 20 m | > 20 m |
| | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Apertura | Nada | < 0,1 | 0,1 – 1,0 mm | 1 – 5 mm | > 5 mm |
| | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| Rugosidad | Muy Rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Suave |
| | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Relleno | Ninguno | Relleno duro < 5 mm | Relleno duro > 5 mm | Relleno < 5 mm | Relleno > 5 mm |
| | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| Alteración | Inalterado | Ligeramente Alterado | Moderadamente Alterado | Muy Alterado | Descompuesto |
| | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

Fuente: Gonzales de Vallejo, Ingeniería Geológica, 2002

Ademas el autor ha considerado la obra "Mecánica de Rocas, Clasificaciones Geomecánicas" del Mag. Ing. Tolentino V., UNMSM, 2005

C) En Canteras

a) Exploración y Mapeo de suelos como canteras

En primer lugar antes de efectuar la exploración debemos definir qué es lo que buscamos. La exploración de suelos en proyectos de líneas de transmisión es para buscar agregados para el concreto. Se necesitan agregados finos y gruesos.

Agregados Finos

Según la Norma ASTM D 422 los agregados finos pueden pasar las mallas 3/8" (9.52 mm.) hasta la malla 100 (aprox. 0.149 mm.).

El Ing. Geólogo para hallar estos agregados finos deben explorar los lechos y márgenes fluviales.

Agregados Gruesos

Según la Norma ASTM C-133 los agregados gruesos deben ajustarse o pasar entre las siguientes mallas nº 8 (2.38 mm.) y 2" (50.8 mm.)

Analizando los agregados que se hallan entre esos límites de mallas tenemos:

Entre las mallas 8 (2.38 mm.) y 4 (4.76 mm.) tenemos arena gruesa

Entre las mallas 4 (4.76 mm.) y 3/4" (19.1 mm.) tenemos grava fina.

Entre las mallas 3/4" (19.1 mm.) y 2" (50.8 mm.) tenemos grava gruesa

El Ing. Geólogo para hallar estos agregados gruesos también debe explorar los lechos y las márgenes fluviales.

Tanto para explorar los agregados finos como gruesos debe una vez ubicados los lugares adecuados como canteras hacer calicatas de exploración y descripción estratigráfica de los suelos, hacer los muestreos para análisis en laboratorio y sobre todo debe efectuar una

adecuada ubicación del lugar de cada cantera utilizando el GPS en donde además debe leer las coordenadas UTM también debe leer la zona geográfica en donde se halla.

Todos los GPS dan este dato por ejemplo Lima se halla en la Zona 18L. La tierra ha sido dividido mundialmente en el círculo del ecuador cada 6 grados y se hallan numerados del 1 al 60 además las latitudes han sido divididas cada 8 grados con letras. Esto es importante para poder efectuar el replanteo y ubicación de las canteras además de usar los planos topográficos.

b) Exploración y Mapeo de rocas como canteras

Cuando no se encuentran suficientes canteras para agregados gruesos (grava fina y grava gruesa) se puede recurrir a buscar canteras con cantos chicos para ser chancados y puedan ser utilizados dentro de las normas para agregados gruesos.

Todas las canteras deben ser mapeadas en un plano regional a la escala 1:25,000 y las canteras de agregados finos y gruesos más importantes deben ser mapeadas a la escala 1:1000

3.2.2 Investigaciones de Laboratorio

A) Laboratorio de Mecánica de Suelos

Al laboratorio de Suelos llegan dos tipos de muestras: los que se han extraídos en las calicatas para estudio de la cimentación de las estructuras de la línea de transmisión y las que se han extraído en canteras para agregados de concreto.

a) Análisis en suelos para cimentaciones

1. Análisis granulométrico por tamizado y SUCS
2. Límites de Atterberg: L.L. y L.P.

- 3.Contenido de humedad natural
- 4.Gravedad Especifica
- 5.Corte Directo
- 6.Peso volumétrico de la grava
- 7.Proctor modificado

b) Análisis en suelos de canteras para agregados de concreto

Para agregados finos:

- 1.Absorción en %
- 2.Durabilidad en %
- 3.Gravedad Especifica
- 4.Peso volumétrico varillado seco en Kg./m³
- 5.% malla 200
- 6.Módulo de Fineza

Para agregados gruesos:

- 1.Absorción en %
- 2.Abrasión en %
- 3.Gravedad especifica
4. Peso volum. Varillado seco en Kg/m³

Para los agregados existen especificaciones así para los agregados finos se rigen por la norma ASTM D-422 y para los agregados gruesos según la norma ASTM C-136.

B) Laboratorio Químico

El laboratorio químico básicamente hace análisis de suelos para detectar la presencia de sales agresivas al concreto y al acero. Los análisis químicos indican por ejemplo la presencia de sulfatos y el Reglamento Nacional de Construcciones indica el tipo de cemento recomendable para el concreto de

acuerdo al % de sulfatos presentes en el agregado para el concreto. Ver gráfico adjunto.

C) Laboratorio de Mecánica de Rocas

Generalmente se envía una muestra de roca para el ensayo de resistencia a la compresión simple este valor es un parámetro para evaluar la calidad de la roca en el método de Bieniawski. Para la evaluación Geomecánica de un macizo rocoso se envían varias muestras de roca de diferentes tramos del macizo.

ILUSTRACION N°25

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA "

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)

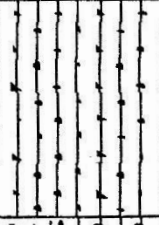



Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-1

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| SM |  | 0.00 1.00 | <p>0.00m - 1.00m ARENA LIMOSA (SM)</p> <p>Arenas finas con gran a buen porcentaje de finos, color beige claro, no plástica, húmeda, medianamente densa, presencia de raíces.</p> <p>A.G.=1.36% A.M.=11.94% A.F.=50.83% A=64.13% F=35.87%</p> |
| GP-GM |  | 1.00 1.30 | <p>1.00m - 1.30m GRAVA MAL GRADUADA LIMOSA (GP-GM)</p> <p>Gravas con bajo porcentaje de finos y buen a gran porcentaje de arenas, color beige claro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente densa.</p> <p>G.G.=31.27% G.F.=23.76% G=55.03% A.G.=7.98% A.M.=13.33% A.F.=12.09% A=33.40% F=11.57%</p> |
| GP |  | 1.30 3.00 | <p>1.30m - 3.00m GRAVA MAL GRADUADA (GP)</p> <p>Gravas con bajo porcentaje a trazas de finos y gran porcentaje de arenas, color beige, húmeda, medianamente densa.</p> <p>G.G.=33.80% G.F.=24.88% G=59.68% A.G.=12.13% A.M.=17.22% A.F.=10.29% A=39.64% F=1.68%</p> |
| | | 3.00 | <p>Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de regular a bajo peso específico.</p> <p>Porcentaje de piedras, pedrones y bloques</p> <p>De 3" a 6" 15.0%, de 6" a 12" 10.0% y > 12" 5.0%</p> <p>Tamaño máximo 25" x 20" x 15"</p> |
| | | 4 | <p>Calicata ubicada frente al puente colgante a 80m aproximadamente.</p> |
| | | 5 | <p>E Y P DE INGENIERIA S.R.L.</p> <p></p> <p>CESAR VILCA GHEZZI INGENIERO CIVIL CIP. N° 6314</p> |

Fuente: Lab. Mecánica de Suelos Ing. C. Vilca

CUADRO 4

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | |
| Nº | | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | Nº4 | Nº10 | Nº20 | Nº40 | Nº60 | Nº100 | Nº200 |
| C-1 | 0.00-1.00 | | | | | | 100.00 | 98.64 | 94.11 | 86.70 | 64.73 | 45.76 | 35.87 |
| | 1.00-1.30 | 85.65 | 68.73 | 61.29 | 56.74 | 48.47 | 44.97 | 36.99 | 30.79 | 23.66 | 17.82 | 13.94 | 11.57 |
| | 1.30-3.00 | 83.12 | 66.20 | 57.40 | 51.74 | 44.79 | 41.32 | 29.19 | 20.80 | 11.97 | 5.52 | 2.83 | 1.68 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L

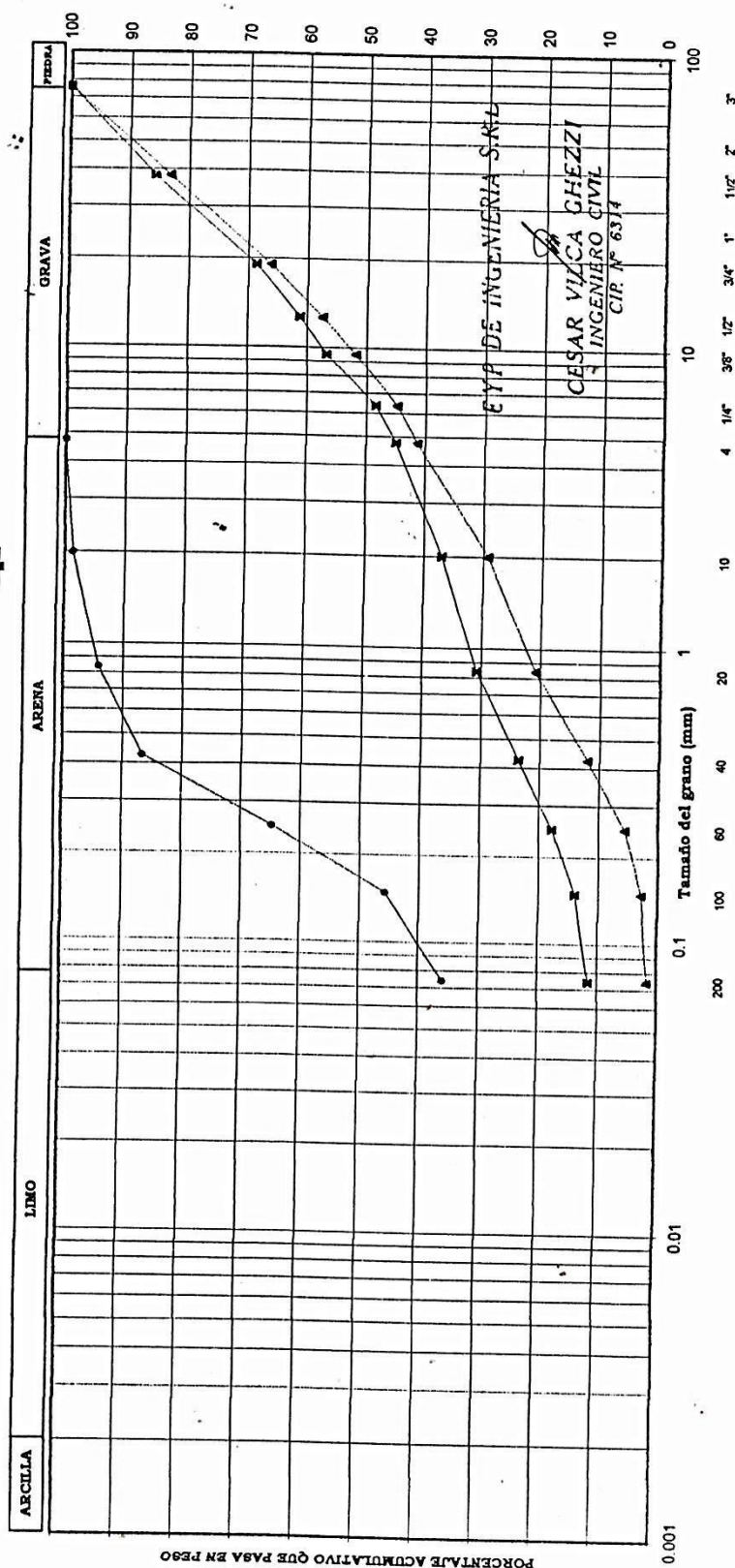

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. Nº 6314

ILUSTRACION N°26

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE**
HUANCAVELICA S.A.
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra | Límites de Consistencia % | | | | Clasificación de suelos | |
|----------|-----------|---------------------------|-------|-------|----|-------------------------|-------|
| N° | m | Gráfico | LL | LP | LC | IP | SUCS |
| C-1 | De-a | —●— | 20.72 | | | N.P. | SM |
| | 0.00-1.00 | —●— | 23.54 | 19.95 | | 3.59 | GP-GM |
| | 1.00-1.30 | —●— | 24.28 | | | N.P. | GP |
| | 1.30-3.00 | —■— | | | | | |



Fuente: Lab. Mecánica de Suelos Ing. C. Vilca 2005

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

CUADRO N° 5

| Calicata N° | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido | Límite Plástico | Índice de Plasticidad | |
| C-1 | 0.00-1.00 | 20.72 | | N.P. | SM |
| | 1.00-1.30 | 23.54 | 19.95 | 3.59 | GP-GM |
| | 1.30-3.00 | 24.28 | | N.P. | GP |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 8314

CUADRO N°6**RESULTADOS DE LABORATORIO**


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| N° | m De-a | % |
| C-1 | 0.00-1.00 | 10.32 |
| | 1.00-1.30 | 10.69 |
| | 1.30-3.00 | 8.37 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

Fuente: Lab. Mecánica de Suelos Ing. C. Vilca 2005

CUADRO N°7

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
 FECHA : JUN.2005

 DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA
 ASTM-D-1556

| Calicata N° | Profundidad m | w % | Grava % | P.v. Grava | Húmeda | | Densidad Natural gr/cm³ | | M.D.S. Corregida gr/cm³ | Compactación % | Máxima Corregida gr/cm³ | | Mínima Corregida gr/cm³ | | Densidad relativa % |
|----------------|------------------|--------|------------|---------------|--------|---------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------|--|---------------------------|
| | | | | | Total | Seca Total | Material que pasa el tamiz N° 4 | Corregida | | | | | | | |
| C-1 | 1.30-1.50 | 8.34 | 58.23 | 2.413 | 2.096 | 2.025 | 1.654 | | | | 2.174 | 1.890 | 1.890 | | 51.03 |
| | 1.80-2.00 | 8.40 | 59.90 | 2.413 | 2.137 | 2.067 | 1.703 | | | | 2.183 | 1.907 | 1.907 | | 61.22 |

Ensayos realizados in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L

 CESAR VALCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

CUADRO N°8
CORTE DIRECTO
ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
MUESTRA : C-01 1.80m-2.00m Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|----------|----------|----------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.693 | 1.701 | 1.715 |
| Humedad inicial | % | 9.09 | 8.36 | 7.75 |
| Humedad final | % | 20.95 | 20.62 | 20.08 |
| Carga | kg/cm ² | 0.5 | 1.0 | 2.0 |

Deformación Unitaria

ϵ

%

Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal

kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0739 | 0.1282 | 0.1734 |
| 1.0 | 0.1448 | 0.2262 | 0.2790 |
| 2.0 | 0.2798 | 0.3771 | 0.4442 |
| 3.0 | 0.3846 | 0.4826 | 0.5512 |
| 4.0 | 0.4675 | 0.5618 | 0.6274 |
| 5.0 | 0.5354 | 0.6229 | 0.6787 |
| 7.0 | 0.6410 | 0.6983 | 0.7390 |
| 9.0 | 0.7096 | 0.7390 | 0.7556 |
| 11.0 | 0.7503 | 0.7541 | 0.7285 |
| 13.0 | 0.7526 | 0.7398 | 0.7013 |
| 15.0 | 0.7322 | 0.7164 | 0.6802 |
| 17.0 | 0.7202 | 0.6938 | 0.6719 |
| 19.0 | 0.7119 | 0.6787 | 0.6644 |

Angulo de fricción Interna = 37.06 °

Cohesión = 0 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L.

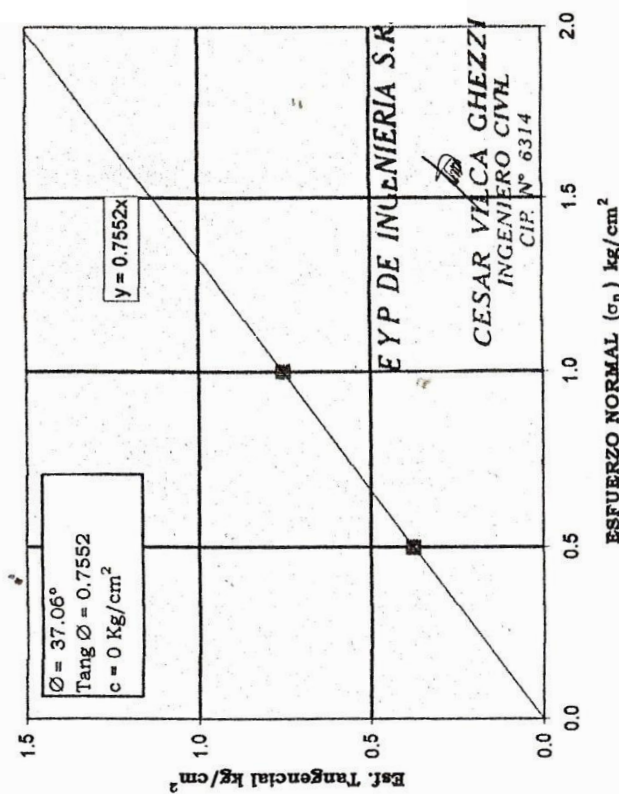
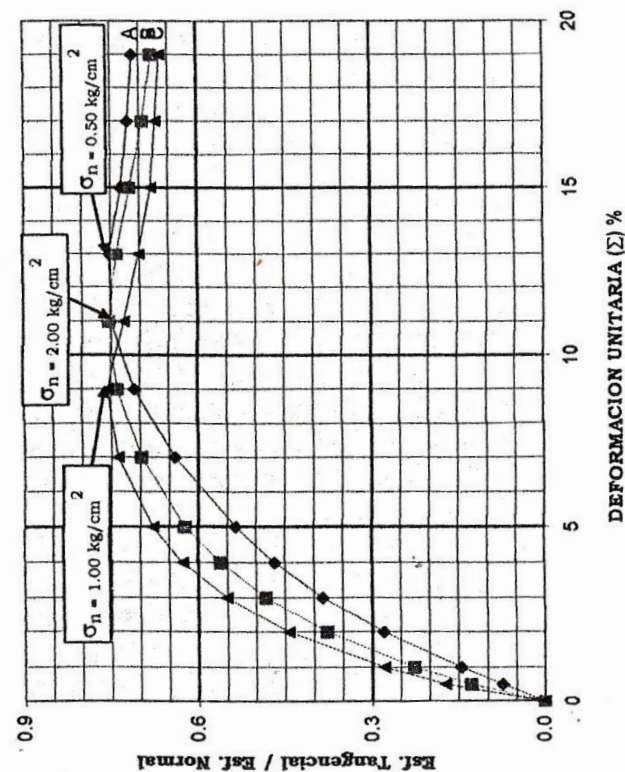
CESAR VILCA GHEZZI
INGENIERO CIVIL

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-01 1.80m-2.00m Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Especimen N° | 1 cm | h cm | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal | |
|-----------------|---------|---------|-----------|-------|-------------------------------------|--------------------|--|
| | | | Inicial | Final | | Kg/cm ² | |
| A | 6.10 | 2.54 | 9.09 | 20.95 | 1.693 | 0.5 | |
| B | 6.10 | 2.54 | 8.36 | 20.62 | 1.701 | 1.0 | |
| C | 6.10 | 2.54 | 7.75 | 20.08 | 1.715 | 2.0 | |

Especímenes remoldeados a la δ_{w4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural. Método del cono de arena.



CUADRO N°9**RESULTADOS DE LABORATORIO**


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | |
|-----------------|----------------|-------------|
| N° | m | P.v. |
| | De-a | |
| C-1 | 1.00-1.30 | 2.455 |
| | 1.30-3.00 | 2.413 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

CUADRO N°10

PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Profundidad m De-a | e | n | Sr % | Cc | II % | Cr | D ₁₀ m.m. | Cu |
|----------|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------|--------|------------------------|----|-------------------------|--------------------------|
| N° | | | | | | | | | |
| C-1 | 1.00-1.30 1.30-1.80 1.80-3.00 | 0.6131 0.5666 | 0.3801 0.3617 | 36.29 39.55 | 0.1219 | (-) 257.94 (+) 3.58 | | 0.065 0.360 0.360 | 175.38 39.58 39.58 |

e = Proporción de vacíos
n = Porosidad
Sr = Grado de saturación
Cc = Índice de compresibilidad
II = Índice de liquidez
Cr = Consistencia relativa
D₁₀ = Diámetro efectivo
Cu = Coeficiente de uniformidad

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

CUADRO N°11

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCATELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

MÁXIMAS Y MÍNIMAS

| Calicata | Muestra | Grava | Máxima | Mínima |
|----------|-----------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| N° | m De-a | % | gr/cm ³ ASTM-D-4253 | gr/cm ³ ASTM-D-4254 |
| C-1 | 1.30-3.00 | 58.68 | 2.176 | 1.895 |

- Muestra obtenida in-situ.
- Los resultados obtenidos son promedios de un mínimo de 03 (tres) ensayos en cada caso.
- Ensayos realizados con los porcentajes de grava obtenidos en los análisis granulométricos, respectivos.
- Se utilizaron en los ensayos, moldes de 1 pie³ de capacidad.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

CUADRO N°12**RESULTADOS DE LABORATORIO**


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS
ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | |
|-----------------|----------------|-------------|
| Nº | m | P.e. |
| | De-a | |
| C-1 | 1.30-3.00 | 2.668 |

Muestra obtenida in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

CUADRO N°13

2

TIPO DE CEMENTO REQUERIDO PARA EL CONCRETO EXPUESTO

AL ATAQUE DE LOS SULFATOS

| GRADO DE ATAQUE DE LOS SULFATOS | PORCENTAJE DE SULFATOS SOLUBLES (SO ₄) EN LA MUESTRA DE SUELO (%) | PARTES POR MILLON DE SULFATOS (SO ₄) EN AGUA (p.p.m.) | TIPO DE CEMENTO | RELACION AGUA/CEMENTO MAXIMA (concreto normal) |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Despreciable | 0 a 0.10 | 0 a 150 | I | |
| Moderado | 0.10 a 0.20 | 150 a 1,500 | II | 0.50 |
| Agresivo | 0.20 a 2.00 | 1,500 a 10,000 | V | 0.45 |
| Muy Agresivo | > de 2.00 | > 10,000 | V + puzolana | 0.45 |

P.C.A. Asociación Cemento Portland

Fuente: Lab. de Suelos Universidad Agraria

3.3 DESCRIPCION DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA LINEA

La descripción del Perfil Estratigráfico de la Línea se ha hecho tomando información de todas las calicatas y taludes con suelos a lo largo del trazo de la línea, dándole la nomenclatura correspondiente a las unidades estratigráficas. Esta tarea se ha hecho desde donde empieza la progresiva de la línea. La descripción de cada calicata se hizo dándole el número de la calicata, su ubicación en progresiva y coordenadas GPS para poder hacerse el replanteo de ubicación.

La descripción de cada calicata se hizo desde el primer estrato superior de la calicata hacia abajo. Cada unidad estratigráfica se describió dando el espesor y su clasificación según el SUCS, su consistencia, presencia de agua y estabilidad. La ubicación de todas las calicatas debe figurar en el plano geotécnico del estudio de la línea. El geotécnico prepara un gráfico del perfil de cada calicata siguiendo la norma 050 de Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. Generalmente el técnico del Laboratorio de Mecánica de Suelos que ha muestreado los suelos prepara una hoja con el perfil estratigráfico de cada calicata. El perfil estratigráfico de la línea es la descripción textual de todas las calicatas con todas sus unidades estratigráficas empezando del inicio de la progresiva. De este modo se tiene una visión general de la naturaleza de los suelos del trazo del proyecto.

3.4 ZONIFICACION GEOTECNICA DE LA LINEA

La zonificación geotécnica de una línea de transmisión en proyecto consiste en dividirla en varios tramos. Esta división en tramos o zonas se hace porque cada una de ellas tiene diferentes características geotécnicas de la zona sea suelo o roca.

3.4.1 Modo de descripción de las zonas geotécnicas de una línea proyectada

En primer lugar las zonas geotécnicas de una línea se designan con números romanos. Los primeros números son generalmente rocas muy compactas o suelos muy consistentes y los últimos números son generalmente suelos de poca consistencia o dureza y aun con presencia de agua. En muchos proyectos se ha visto que se usan aproximadamente solo 5 zonas geotécnicas: I, II, III, IV y V. La descripción puede hacerse de un modo simple o detallado. Ello depende de la cantidad de información recolectada en campo y laboratorio. Vamos a presentar dos modelos de descripción de las zonas geotécnicas: uno simple y otro detallado.

A) Descripción Simple de las zonas geotécnicas de una línea

Tomamos como ejemplo el modelo simple efectuado por J. L. Ramírez Castañeda en su tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo en la UNMSM en el 2000: “Estudio Geológico y Geotécnico para la Cimentación de Torres de Alta Tensión en el Sistema de Transmisión de 220 Kv Mantaro-Socabaya: Tramo Mantaro-Pampas”. En un costado de cada una de las hojas de Plano Geotécnico ha hecho un cuadro con la siguiente leyenda:

CUADRO N° 14
ZONIFICACION GEOTECNICA

| ZONA | DESCRIPCION | PESO UNITARIO (t/m³) | PRESION MAX (kg/cm²) | ANGULO DE ARRANQUE |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| I | Roca volcánica lávica, granito, areniscas, calizas y otras rocas muy resistentes en bancos gruesos. Poco fracturado con cobertura de suelo menor de 1 m. RMR: I-II. | 2.3 | 2.0 | 45° |
| II | Roca volcánica efusiva (tobas), lutitas, areniscas y otras rocas débiles a moderadamente resistente en capas delgadas, muy fracturadas. RMR: III-IV | 2.0 | 6.0 | 40° |
| III | Roca completamente descompuesta, depósitos aluviales compuestos por gravas y arenas con limos, sin agua, de compacidad densa. | 1.6 | 3.8 | 30° |
| IV | Roca completamente descompuesta, gravas sueltas y limos con arenas limosas o arcillosas de consistencia media. | 1.4 | 2.0 | 25° |
| V | Suelos sueltos, con nivel freático por encima del nivel de cimentación | 1.0 | 0.8 | 15° |

En los planos geotécnicos zonificados por J. L. Ramírez en su tesis la zona I va con color morado, la zona II con color anaranjado, la zona III con color amarillo, la zona IV con color verde y la zona V con color celeste. A juntamos una hoja de plano geotécnico zonificado de dicha tesis a la escala 1:50,000.

B) Descripción Detallada de las zonas geotécnicas de una línea

Tomamos como ejemplo de descripción detallada de las zonas geotécnicas el efectuado por el Ing. Cesar Atala Abad, Gerente de la Empresa CAA Ingenieros Consultores en el “Estudio de Suelos con fines

de Cimentación de la Línea de Transmisión 138 kV Tallabamba-Llacuabamba, Pataz, La Libertad, 2005". Se aprecia un mayor detalle en las zonas con suelos. Se clasifican 5 zonas geotécnicas:

Zona I.- Con rocas esquistas, cuarcita andesítica y areniscas fracturadas e intemperizadas. Zona con color verde.

Zona II.-Con roca andesita, poco fracturados. Zona con color morado.

Zona III.- Gravas con matriz arcillosas y gravas limosas arenosas angulosas, semicompactas a compactas, de mediana humedad a húmedas. Zona con color amarillo.

Zona IV.- Con gravas arcillosas con color negruzco superficial y gravas arcillosas verdosas y húmedas.

Zona V.- Con arcilla arenosa de mediana plasticidad, de color marrón claro con gravas aisladas.

Se ha efectuado la descripción de una zona con predominio de suelo y otra con predominio de roca.

a) Descripción de una zona con suelo

Zona V

Tipo de suelo: ya indicado

Características Geotécnicas:

- 1) Condiciones de Cimentación.-Las estructuras se han cimentado sobre rocas fracturadas por medio de zapatas aisladas o parrillas para una capacidad portante $q_{adm} = 7 \text{ kg/cm}^2$
- 2) Tipos de relleno para tapar zapatas.-Se pueden utilizar material propio o de cantera debidamente seleccionados y debidamente compactados por capas con el 100 % de máxima densidad del Proctor modificado.
- 3) Parámetros del relleno propio y de cantera.- Ángulo de fricción interna, cohesión, peso volumétrico, ángulo de arrancamiento e índice de compresibilidad.
- 4) Método de excavación.- Manual y con martillo neumático.
- 5) Nivel freático y filtraciones.
- 6) Agresividad del suelo.- Al concreto y al acero.
- 7) Aspecto sísmico.- Zona, Periodo predominante, Factor del suelo y Factor de zona. De acuerdo al Reglamento Nac. de Edificaciones, Norma E030 de Diseño Sismoresistente.

b) Descripción de una zona con roca

Zona II

Tipo de roca: ya indicado

Características Geotécnicas:

- 1) Condiciones de Cimentación.- Las estructuras se han anclado en la roca a una profundidad de 1.5 a 2.0 m. para una capacidad portante de $q_{adm} = 20 \text{ kg/cm}^2$

- 2) Parámetros de la roca: Ángulo de fricción interna, cohesión, evaluación geodinámica RMR mediante la suma de sus valores, ángulo de arrancamiento.
- 3) Nivel freático y/o filtraciones.
- 4) Agresividad de la roca.
- 5) Aspecto sísmico.- Datos similares a los indicados para la zona en suelos.

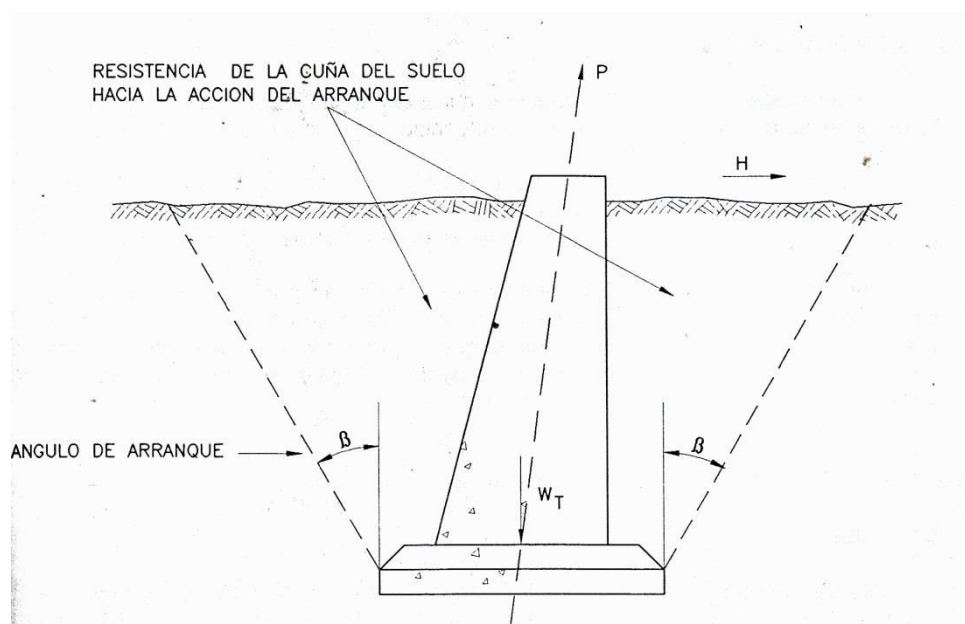
3.4.2 Explicación del ángulo de arrancamiento

Uno de los parámetros necesarios para los diseños de la cimentación se refiere al ángulo de arrancamiento en suelo o en roca que en su rotación el bloque de cimentación trata de levantar. Esta porción de suelo o roca está constituida por el peso del suelo o roca ubicado encima de la cimentación más el peso de una hipotética “cuña” de suelo o de roca definido por el ángulo de tierra gravante.

Estos pesos forman geométricamente un tronco de cono. La Comisión Federal Suiza definió los siguientes valores del ángulo para diferentes tipos de suelos:

| TIPO DE SUELO | SUELO REMOVIDO | SUELO NO REMOVIDO |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Suelo fangoso | 5 ° | 5-8° |
| Suelo fuerte (arcilla) | 8° | 8-12° |
| Suelo firme (arena) | 18° | 20-25° |
| Suelo firme (grava) | 24° | 35° |

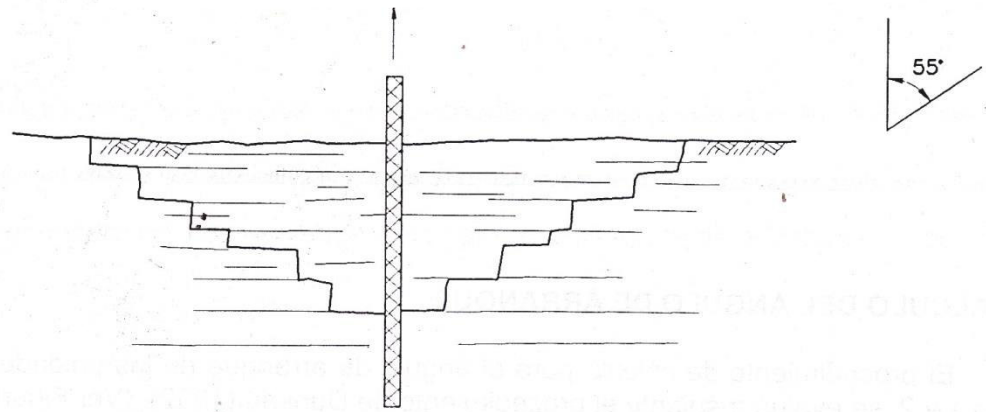
ILUSTRACION N° 29
ANGULO DE ARRANCAMIENTO



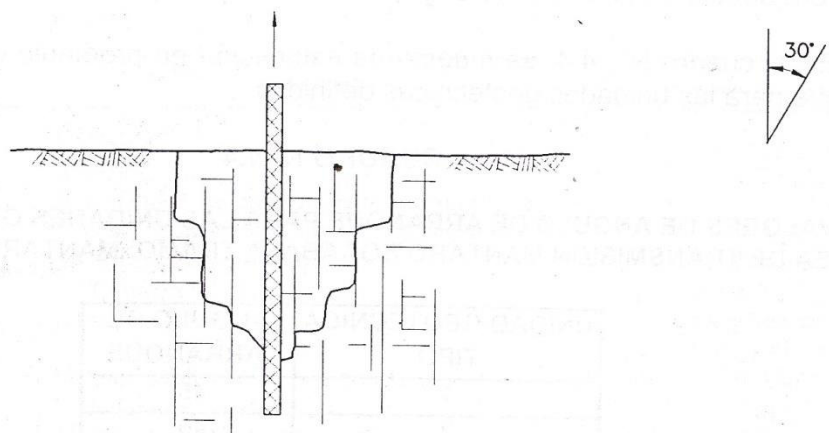
Fuente: Tesis Ramírez J. Ing. Geol. UNMSM, 2000

ILUSTRACION N° 30 **ESPESORES DEL CONO EN ROCAS**

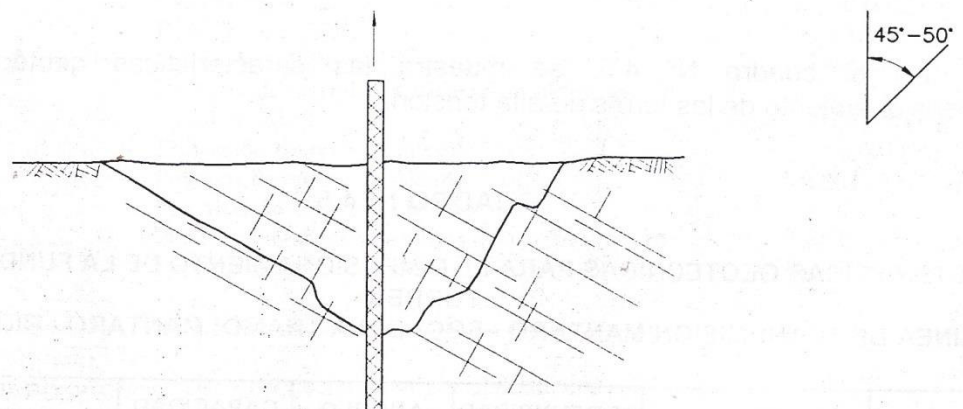
122



(a) ESPESOR DEL CONO PRODUCIDO O FORMADO EN FORMACIONES CON ESTRATOS O CAPAS HORIZONTALES



(b) DIRECCION DEL CONO FORMADO A LO LARGO DE LA FRACTURA VERTICALES



(c) * SUPERFICIE DEL CONO FORMADO A LO LARGO DE LAS FRACTURAS INCLINADAS

3.4.3 Presentación de la Zonificación Geotécnica del trazo de una línea proyectada

La zonificación geotécnica del trazo de una línea de transmisión se presenta en dos formas:

A) Presentación textual.- Dentro del texto del informe se presenta la descripción de todas las zonas geotécnicas del trazo de una línea.

B) Presentación gráfica en el plano geotécnico.-Dentro del plano geotécnico del informe el cual además de contener el trazo de la línea con sus progresivas, ubicación de las calicatas efectuadas debe figurar la delimitación de las diferentes zonas geotécnicas las cuales deben ir con diferentes colores y siguiendo el trazo de la línea de transmisión proyectada. Además el plano geotécnico debe contener una leyenda de la zonificación geotécnica donde hay pequeños recuadros coloreados para las zonas geotécnicas y mención de las principales características geotécnicas de cada una de ellas. El plano geotécnico debe además contener el drenaje de los ríos y la ubicación de los pueblos grandes y pequeños, ellos nos ayudan a ubicar la posición y tamaño de las zonas geotécnicas y la escala del plano preferible 1:50,000. En forma especial es necesario remarcar de que es importante de que en todo informe geotécnico deben figurar dos planos: el geológico y el geotécnico. No es posible presentar en un solo plano datos geológicos con sus colores para las unidades estratigráficas e intrusivas y al mismo una zonificación geotécnica con su correspondiente juego de colores.

3.5 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE DE LAS ZONAS DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN

3.5.1 Introducción

Según Braja M. Das para comportarse satisfactoriamente las cimentaciones superficiales deben tener dos características principales:

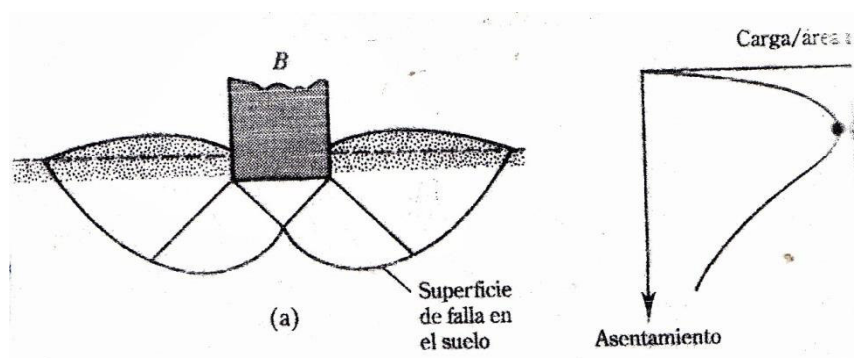
- 1.- La cimentación debe ser segura contra una falla por corte general del suelo que lo soporta
- 2.- La cimentación no debe experimentar un asentamiento excesivo. El termino excesivo es relativo porque el grado de asentamiento admisible en una estructura depende de varias consideraciones.

A) Concepto General sobre fallamiento del suelo

De Braja M Das 2006 hemos extraido la siguiente clasificación de fallas.

La carga sobre un suelo puede ocasionar 3 clases de fallas:

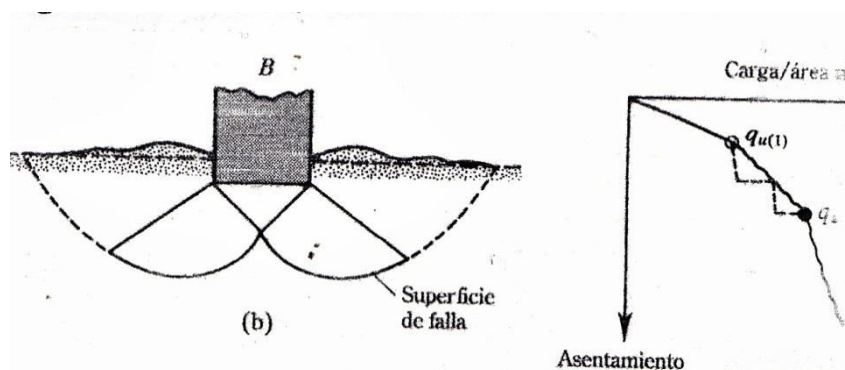
- a) **Falla por corte general.-** Consideremos una cimentación corrida que descansa sobre una superficie de arena densa o suelo adhesivo firme como muestra la figura de la ilustración 31 que se adjunta con un ancho B . Ahora si la carga se aplica gradualmente a la cimentación, el asentamiento se incrementará. La variación de la carga por unidad de área, que sobre la cimentación se muestra también en la figura con el asentamiento. En cierto punto cuando la carga por unidad de área es igual a Q_u tendrá lugar una falla repentina en el suelo que soporta a la cimentación y la zona de falla en el suelo se extenderá hasta la superficie del terreno. Esta carga por unidad de área Q_u generalmente se denomina capacidad última de la cimentación. Cuando ocurre este tipo de falla en el suelo se denomina falla por corte general.



ILUSTRACION 31

Fuente: Falla corte general Braja M. Das 2006

b) Falla por corte local.- Si la cimentación considerada descansa sobre suelo arenoso o arcilloso medianamente compactado (fig. b de la ilustración 32) un incremento de carga sobre la cimentación también será acompañado por un aumento del asentamiento. Sin embargo en este caso la superficie de la falla en el suelo se extenderá gradualmente hacia afuera desde la cimentación como muestran las líneas continuas en la fig. b. Cuando la carga por área unitaria sobre la cimentación es igual a q_u el movimiento de la cimentación estará acompañado por sacudidas repentinas. Se requiere entonces un movimiento considerable de la cimentación para que la zona de falla en el suelo se extienda hasta la superficie del terreno (como muestra la línea discontinua en la figura adjunta). La carga por unidad de área bajo la cual sucede esto es la capacidad de carga última q_u . Más allá de este punto una mayor carga estará acompañada por un gran un gran incremento del asentamiento de la cimentación. La carga por unidad de área de la cimentación q_u se denomina carga de la primera falla (Vesic). Observa que un valor q no se presenta en este tipo de falla, llamada falla por corte local del suelo.

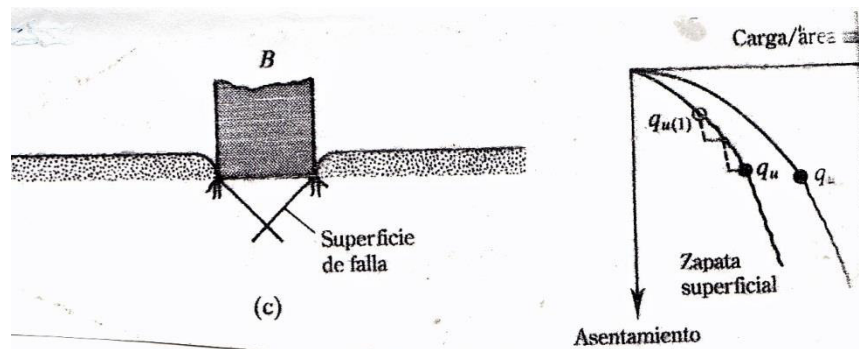


ILUSTRACION 32

Fuente: Falla corte local Braja M. Das 2006

c) Falla de corte por punzonamiento.- Si la cimentación es sustentada por un suelo bastante suelto la gráfica carga-asentamiento será como lo muestra la figura c adjunta. En este caso la superficie de falla en el suelo no se extenderá hasta la superficie del terreno. Más allá de la carga última q_u la gráfica carga-asentamiento se inclinará y será prácticamente lineal. Este tipo

de falla en suelos se denomina falla de corte por punzonamiento mostrado en la ilustración 33.



ILUSTRACION 33

B) Nociones sobre las teorías de capacidad portante de Terzaghi, Meyerhof y Vesic según Brajas M. Das

Teoría de Terzaghi (1943)

Terzaghi fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última de las cimentaciones superficiales. De acuerdo a las últimas experiencias la profundidad D_f puede ser 3 o 4 veces el ancho B . Terzaghi ideó una fórmula adecuada para cimentaciones corridas que es la siguiente:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (\text{donde } q = \gamma D_f)$$

Dónde:

c' = cohesión del suelo

γ = peso específico del suelo

D_f = profundidad de la cimentación

B = ancho del cimiento

N_c , N_q y N_γ = factores de capacidad de carga que se hallan en tablas

ILUSTRACION N° 34

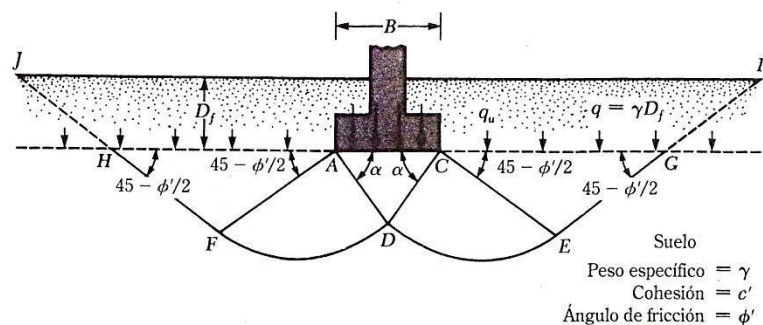


Figura 2.5 Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación corrida, rígida

Fuente: Teoría de Terzaghi Braja M. Das 2006

Para hallar los valores de capacidad de carga en la fórmula de Terzaghi en primer lugar se debe tomar una muestra de suelo y enviarla al laboratorio para efectuar un ensayo de corte directo de donde se consiguen los valores de C (cohesión) y ϕ con los cuales en tablas especiales se determinan los valores de N_c , N_q y N_γ . Como la primera fórmula de Terzaghi es para cimentaciones corridas posteriormente se definieron dos fórmulas más:

$$q_u = 1.3 c' N_c + q N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \text{ para cimentaciones cuadradas (donde } q: \gamma D_f)$$

$$q_u = 1.3 c' N_c + q N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \text{ para cimentaciones circulares}$$

Posteriormente Terzaghi mismo sugirió para estos mismos casos las siguientes formulas:

$$\text{Para cimentaciones corridas: } q_u = \frac{2}{3} c' N'_c + q N'_q + \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma$$

$$\text{Para cimentaciones cuadradas: } q_u = 0.867 c' N'_c + q N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma$$

$$\text{Para cimentaciones circulares: } q_u = 0.867 c' N'_c + q N'_q + 0.3 \gamma B N'_\gamma$$

El Factor Seguridad

El cálculo de la capacidad de carga admisible bruta de cimentación requiere en todos los casos la aplicación de un factor de seguridad (F.S.), este generalmente es 3.

$$q_{adm}: q_u / F.S.$$

Teoría de Meyerhof (1963) y la Ecuación General de la capacidad de carga

Las ecuaciones de Terzaghi son solo para cimentaciones continuas, cuadradas y circulares. Estas no se aplican para el caso de cimentaciones rectangulares. Además las ecuaciones no toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla arriba del nivel de desplante de la cimentación (porción de la superficie de falla marcada como GI y HJ en la figura de la teoría de Terzaghi.) Además la carga sobre la cimentación puede estar inclinada. Para tomar en cuenta todas estas deficiencias Meyerhof sugirió una nueva fórmula a la ecuación general de capacidad de carga:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

En esta ecuación:

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel de desplante de la cimentación

γ = peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación

$F_{cs} F_{qs} F_{\gamma s}$ = factores de forma

$F_{cd} F_{qd} F_{\gamma d}$ = factores de profundidad

$F_{ci} F_{qi} F_{\gamma i}$ = factores por inclinación de la carga

$N_c N_q N_\gamma$ = factores de capacidad de carga

Los factores de forma, profundidad e inclinación de carga son factores empíricos basados en datos experimentales.

Teoría de Vesic (1973) y la ecuación general de la capacidad de carga

En 1973 Vesic consideró que a la ecuación general de Meyerhof aún le faltaba tomar en cuenta el factor de compresibilidad del suelo. Observando la fórmula de Vesic notamos de que considera casi todos los factores de Meyerhof como

son: de forma, profundidad y de carga pero no el de inclinación pero en cambio incluye los factores de compresibilidad:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{cc} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qc} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma c}$$

C) Capacidad Portante en Casos Especiales

En las fórmulas anteriores se suponía que el suelo era completamente homogéneo y también de que el terreno era horizontal, sin embargo en la realidad alguna veces esto no es así.

Los principales casos que se pueden presentar son los siguientes:

- 1) Cimentación soportada por un suelo con una base rígida a poca profundidad.
- 2) Capacidad de carga de suelos estratificados: suelo más fuerte sobre suelo más débil.
- 3) Capacidad de carga de cimentaciones sobre un talud.

El geotécnico debe evitar tener que cimentar en estas situaciones y si no hay alternativa puede aplicar fórmulas especiales que se deriven de las conocidas.

3.5.2 Métodos de Cálculo de la Capacidad Portante de las Zonas con suelos de la Línea

A) Cálculo con el método de cono de arena (campo) y corte directo (laboratorio)

Este método se aplica principalmente para suelos cohesivos y arenosos. Para suelos con gravillas se requiere que el aparato de corte directo sea más grande. No es recomendable para suelos con gravas grandes.

La aplicación de este método se desarrolla en 3 etapas:

1ª Etapa.- Obtención de datos de campo:

Dimensión de la calicata Df (profundidad)

Ensayo “in situ” del cono de arena ASTM-D-1556 para determinar la densidad natural del suelo cuyo procedimiento se ha explicado en el párrafo sobre investigaciones de campo.

Muestreo de suelo para laboratorio

2ª Etapa.- Trabajos en laboratorio:

Análisis granulométrico del suelo

Ensayo de corte directo de la muestra de suelo según la Norma ASTM-D-3080.

Mediante este ensayo se obtienen los valores De C (cohesión) y Phi (ángulo de fricción interna).

3ª Etapa.-Cálculos y Aplicación de la fórmula de Terzaghi:

Calculo de los valores de capacidad de carga: A partir del valor del ángulo de fricción interna que se aplica en tabla gráfica se obtienen los valores de N_c ,

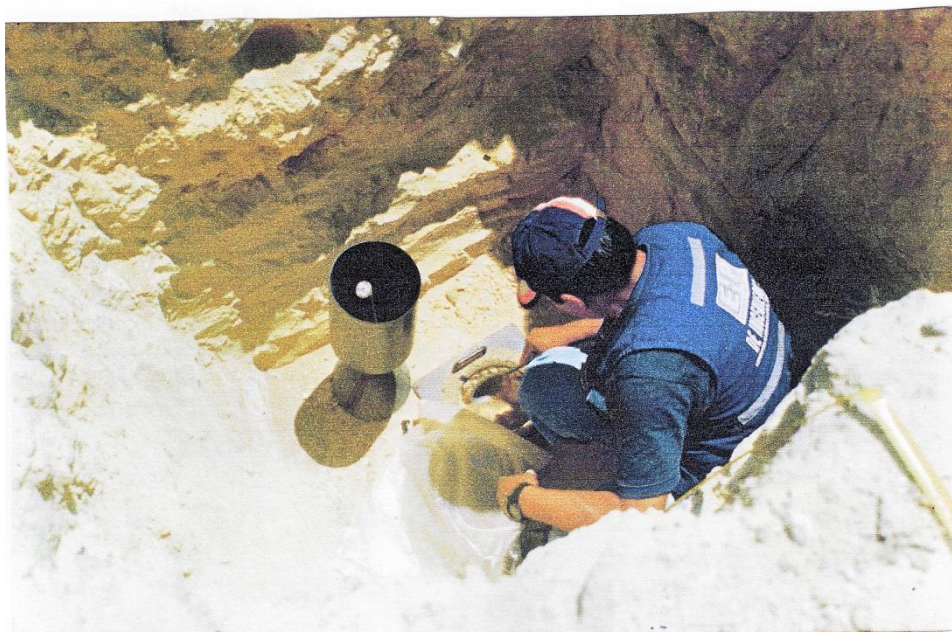
N_q y N_y

Aplicación de la fórmula de Terzaghi: Antes de aplicarse la fórmula debe efectuarse la unificación de las unidades de medida de tal modo que el resultado de la capacidad portante C_u sea kgs./ cms.²

Aplicación del Factor Seguridad: Al resultado del C_u se divide entre el valor del factor seguridad que en este caso para estructuras de líneas de transmisión usualmente es 3 siendo el resultado la capacidad admisible del suelo:

$$C_{adm.} = C_u/3$$

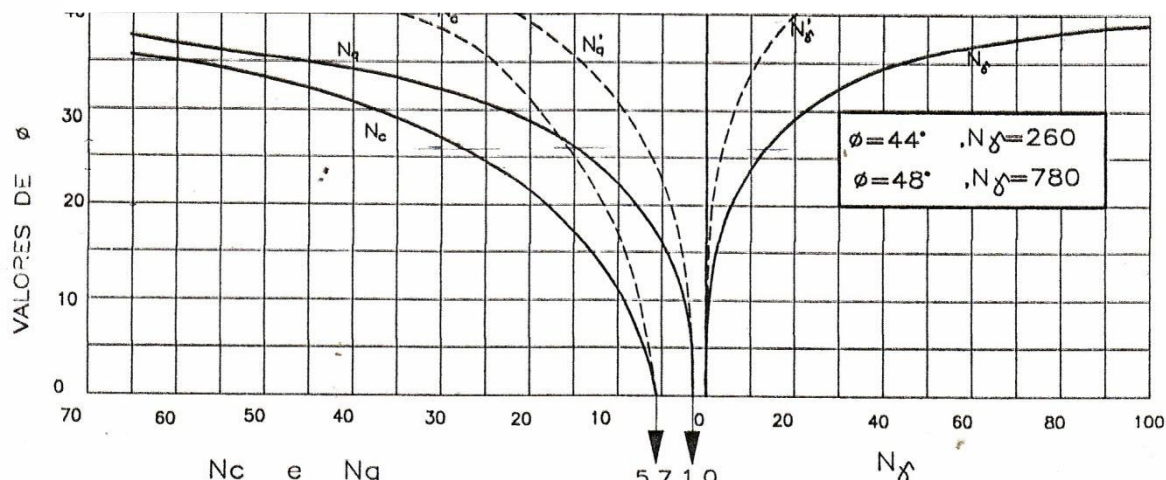
A continuación presentamos dos ilustraciones en primer lugar una fotografía que muestra el trabajo de trabajar con el cono de arena dentro de una calicata y luego un cuadro para calcular los factores de capacidad de carga



ILUSTRACION N° 35: TRABAJO “IN SITU” CON EL CONO DE ARENA

Fuente: Línea T. Huancarama-Poracota Ing. E. Suyo 2005

ILUSTRACION N° 36: GRAFICO DE TERZAGHI PARA CALCULAR LOS FACTORES DE CARGA



Fuente: Curso Mecánica de Suelos UNI 2000

B) Cálculo con el método SPT (Estándar Penetration Test)

Este ensayo es relativamente sencillo. Este ensayo se realizó en el interior del sondeo de perforación. Permite obtenerse un valor de N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con varios parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento y la carga admisible.

Este ensayo puede efectuarse en todo tipo de suelo pero ha sido en los suelos granulares (arenas y gravillas) preferente. El procedimiento a seguir consiste en limpiar cuidadosamente la perforación al llegar a la cota deseada o excavación de la calicata para el ensayo retirando los implementos de perforación e instalando en su lugar un toma muestra estándar, este consiste de zapata, tubo partido y cabeza de acoplamiento con el varillaje. Este se hincó en el terreno 60 cms. contando el número de golpes necesarios hasta hincar un tramo de 15 cms. El golpe para la hincada se realizó con una maza de 63.5 kgs. cayendo libremente desde una altura de 76 cms. sobre una cabeza de golpeo. La lectura del golpeo del primer y último tramo no se debe tomar en cuenta por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes del

sondeo. Los valores N de golpes pueden correlacionarse con valores Q_u de resistencia a la compresión no confinada o capacidad portante del suelo como se muestra en el siguiente cuadro de correlación para suelos cohesivos.

| CUADRO - INTERPRETACION DEL ENSAYO DE PENETRACION | | |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| Suelos cohesivos | | |
| Consistencia | N (golpes / 30 cm) | q_u (kg / cm²) |
| Muy Blanda | < 2 | < 0.25 |
| Blanda | 2 - 4 | 0.25 - 0.50 |
| Medianamente compacta | 4 - 8 | 0.50 - 1.00 |
| Compacta | 8 - 15 | 1.00 - 2.00 |
| Muy compacta | 15 - 30 | 2.00 - 4.00 |
| Dura | > 30 | > 4.00 |

N = resultado del ensayo SPT
 q_u = resistencia a la compresión no confinada

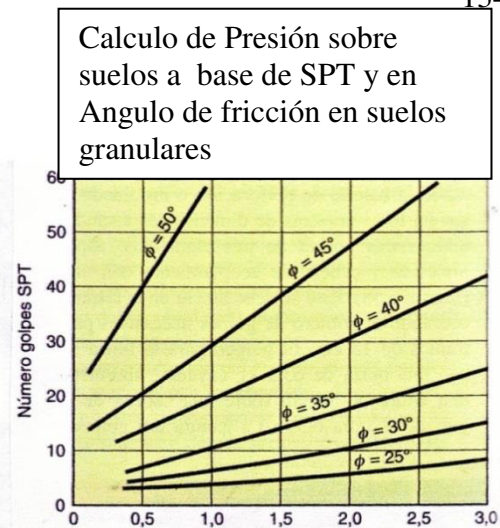
CUADRO N° 15

Fuente: Seminario Diseño y Construcción de Cimentaciones Comité Peruano De Mec. Suelos 1986

González de Vallejo ha tenido para los suelos granulares 2 correlaciones para determinar la presión del recubrimiento (Kg/cm^2) que es equivalente a Q_u . Primero se halló la correlación de los valores N con los valores del ángulo de fricción interna en el cuadro de la izquierda y luego en el cuadro de la derecha se correlacionó el ángulo de fricción interna con el número de golpes N de SPT para obtenerse el valor de la presión del recubrimiento en Kg/cm^2 . Ambos cuadros se presentan a continuación:

Correlación entre el SPT y el ángulo de rozamiento interno de suelos granulares

| N(SPT) | Compacidad | ϕ (°) |
|--------|--------------------|------------|
| 0-4 | Muy floja | 28 |
| 4-10 | Floja | 28-30 |
| 10-30 | Medianamente densa | 30-36 |
| 30-50 | Densa | 36-41 |
| > 50 | Muy densa | > 41 |



CUADRO Nº 16

CUADRO Nº 17

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

3.5.3 Métodos de cálculo de la capacidad portante de las zonas con roca de la línea

Para calcular la capacidad portante admisible en las rocas podemos utilizar dos formas:

A) Método simple

Este método es adecuado para estructuras livianas de líneas de transmisión. Se siguen los dos pasos siguientes:

1° Determinación de la nomenclatura de la roca.- Algunas rocas son fáciles de identificarlas a simple vista como son las intrusivas, algunas rocas sedimentarias y metamórficas. Sin embargo la mayoría de las rocas de grano fino son difíciles de identificar, entonces es necesario recurrir a un laboratorio de Petrografía que nos proporciona la composición mineralógica y nomenclatura.

2° Determinación de la presión admisible de la roca.- Para ello podemos consultar la tabla de la obra Ingeniería de Cimentaciones de Peck et al 1967 que a continuación sigue:

| Presiones permisibles sobre roca (kg/m ²) Fragmentos de varios códigos de edificación ^a | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|--------------------------------|---|
| Material | Código ^b | | | |
| | A | B | C | D |
| Lecho de roca cristalino macizo, que incluye granito, diorita, roca trapeana, piedra caliza dura, gneis y dolomita. | 98 | 98 | 0.2q _u ^c | 9 |
| Rocas foliadas tales como el esquisto y la pizarra en buenas condiciones. | 39 | 39 | 0.2q _u | 4 |
| Piedra caliza estratificada en buenas condiciones. | 39 | 14 | 0.2q _u | 4 |
| Roca sedimentaria, incluyendo esquistos duros y piedras arenosas. | 24 | 14 | 0.2q _u | 3 |
| Lecho de roca suave o quebrado (excluyendo esquisto) y piedra caliza suave. | 9 | | 0.2q _u | |
| Esquisto suave. | 4 | | 0.2q _u | |

CUADRO Nº 18

B) Método Detallado

Este método se aplica más para estructuras pesadas de líneas de transmisión de alto voltaje y comprende los siguientes pasos

1º Determinación del RQD de la roca

Es necesario utilizar una perforadora rotatoria con saca testigo aplicable a la determinación del RQD (Rock Quality Designation), en castellano designación de la calidad de la roca. El RQD constituye una parte de los trabajos para determinar la clasificación geomecánica de la roca con el método de Bieniawski. El RQD está basado en el grado de fracturamiento de la roca en el testigo de perforación este representa la relación entre la suma de los trozos de roca mayores de 10 cms. dividido por la longitud total del testigo y después multiplicar el resultado por 100. El saca testigo debe tener la capacidad de obtener un testigo no mayor de 1.5 m. y no menor de 1.0 m. El RQD es una cifra porcentual. González de Vallejo en su obra "Ingeniería Geológica" indica la calidad del RQD del modo siguiente:

| RQD % | Calidad |
|-------------|-----------|
| Menor de 25 | Muy mala |
| 25-50 | Mala |
| 50-75 | Media |
| 75-90 | Buena |
| 90-100 | Muy buena |

2º Determinación del valor de capacidad admisible de la roca

El valor de RQD de la roca es correlacionada con su valor de capacidad portante admisible según el siguiente cuadro tomado de la obra Ingeniería de Cimentaciones de Peck et al 1967.

| RQD | Qc Kg/cm. ² |
|-----|------------------------|
| 100 | 293 |
| 90 | 196 |
| 75 | 117 |
| 50 | 68 |
| 25 | 22 |
| 0 | 110 |

La muestra para el RQD debe de tomarse debajo del nivel de cimentación

3.6 SOBRE LA CONSOLIDACIÓN Y EL ASENTAMIENTO DE LOS SUELOS

3.6.1 Sobre la Consolidación

Después de revisar diversas obras que tratan este tema complejo es la de González de Vallejo (Ingeniería Geológica) la que lo explica con sencillez y por él cual debo reconocer he procedido a efectuar un resumen de lo expuesto por dicho autor.

A) Suelos normalmente consolidados y sobreconsolidados

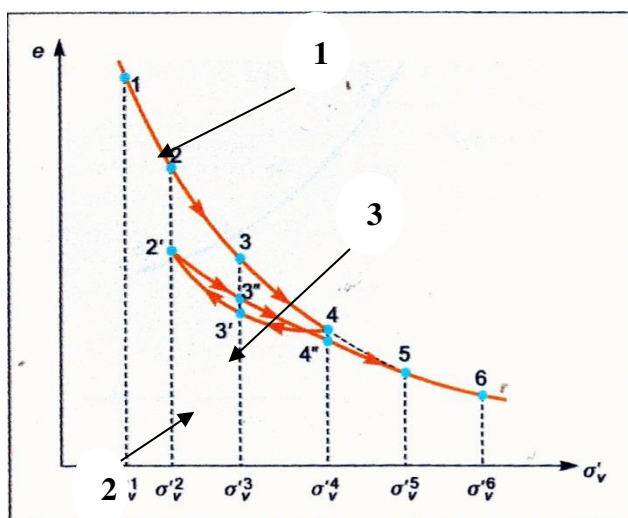
1) Procesos de consolidación.- Cuando se desea estudiar el estado de consolidación de un suelo es muy importante conocer la historia geológica de su sedimentación que dirá sus características tenso-deformacionales. Una forma de estudiar la consolidación es someter el suelo a ensayos unidimensionales (con deformaciones laterales nulos). Cuando un suelo

sedimentado sufre otra sedimentación se irá reduciendo su índice de poros y se ira consolidando. La historia tensional del sedimento puede representarse por una CURVA O **Rama De Compresión Noval(1)**. En definitiva el suelo es más rígido (menos deformable) cuanto mayor es su nivel de tensión inicial.

2) Procesos de descarga.-Si cesara la sedimentación y por un cambio de las condiciones geológico-ambientales se inicie un proceso de erosión, la retirada de capas de suelo implicará una descarga y en consecuencia un hinchamiento del terreno (aumento del índice de poros) y su representación gráfica no sigue el camino de la compresión noval y se presenta una nueva curva o **Rama De Descarga (2)** con una estructura más densa (más resistente y menos deformable).

3) Procesos de recarga o sobreconsolidacion (3).-Si se produce nuevamente un proceso de sedimentación entonces se dice de recarga y en la curva de ensayo no sigue el camino de descarga sino uno nuevo bastante cercano. Veamos las 3 curvas en el siguiente gráfico.

ILUSTRACION N° 37: COMPRESION NOVAL, RAMA DE DESCARGA Y RECARGA



Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

4) La deformabilidad de suelos normalmente consolidados y sobreconsolidados.- Si un suelo consolidado normalmente al sufrir carga por una obra sufrirá un asiento mayor si el suelo estuviese sobreconsolidado mejor dicho en igualdad de condiciones la deformabilidad del suelo sobreconsolidado es menor que la del suelo normalmente consolidado.

Los suelos sobreconsolidados se comportan de una manera aproximadamente elástica mientras que los suelos normalmente consolidados presentan siempre deformaciones elásticas y plásticas.

5) La representación de la historia tensional.- Para la mayoría de los suelos las curvas anteriores se pueden convertir en rectas empleando una escala logarítmica para el eje de esfuerzos tensionales en kg/ cm.cuadrados y que se halla en la abcisa.

B) Factores complementarios que influyen en la estructura y comportamiento del suelo

Un factor importante que influye en el comportamiento del suelo son las modificaciones del régimen hidrológico que se expresa en el cambio de cota de la napa freática. Otro factor es la cementación química que actúa como sobreconsolidación.

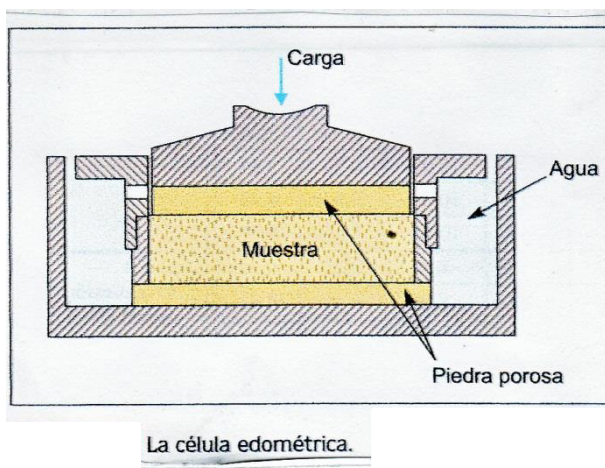
C) El ensayo edométrico

Aunque cualquier carga de una cimentación produce deformación vertical y lateral, resulta habitual hacer el estudio del modelo de deformación unidimensional (sin deformación lateral) que se llama ensayo edométrico utilizando el edómetro.

1) Descripción del ensayo

Gonzales de Vallejo explica:

El edómetro consiste en un anillo rígido de acero en cuyo interior se coloca la muestra de suelo generalmente inalterada (ver figura adjunta). En la parte superior e inferior se colocan piedras porosas que permiten el drenaje del agua contenida en el suelo. El conjunto se introduce en una célula que se llena con agua para mantener las condiciones de saturación completa.



ILUSTRACION N° 38

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

“Sobre la piedra porosa superior se coloca una placa rígida y en su centro se aplica una carga vertical. Esta carga se va aumentando en escalones, usualmente cada escalón duplica la carga anterior y se mide lo que se comprime o asienta el suelo en cada una de ellas. La rigidez del anillo impide deformación lateral del suelo e impone condiciones de compresión unidimensional.”

“En un suelo poco permeable cuando se coloca un nuevo escalón de carga todo el incremento de tensión vertical se transmite instantáneamente al agua intersticial y hace que las tensiones efectivas no varíen. Posteriormente a medida que el exceso de presión de poros se disipa al producirse el drenaje a través de las piedras porosas las tensiones efectivas aumentan y el suelo se comprime (se consolida). En un ensayo edométrico cada escalón de carga se ha de mantener el tiempo suficiente como para asegurar que el proceso de consolidación se ha completado lo que en general suele lograrse con intervalos de unas 24 horas.”

2) Representación de resultados

Gonzales de Vallejo explica:

Cuando se realiza un ensayo edométrico debe llevarse a cabo una serie de escalones de carga y descarga. Su representación se realiza llevando en ordenadas las deformaciones verticales unitarias ($\epsilon_v\%$) o los índices de poros sucesivos y en las abscisas las tensiones efectivas verticales de cada escalón. “Lo que se mide realmente es la compresión vertical ΔH de una pastilla de suelo de espesor inicial H_0 para determinar el índice de poros tras cada escalón de carga y se hace uso de la relación”:

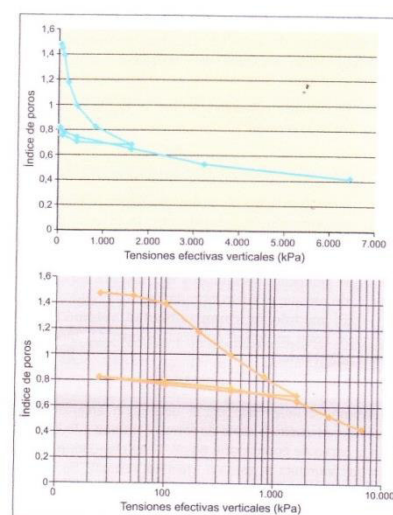
$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \rightarrow e = e_0 - \frac{\Delta H}{H_0} (1 + e_0)$$

“Donde e_0 es el índice de poros inicial de la muestra. En la figura siguiente (ilustración N° 39) se muestran las curvas edométricas de un ensayo en el que se ha efectuado un ciclo de descarga-recarga intermedio. Se trata de una arcilla sacada a 13.20 m. de profundidad con $e_0 = 1.50$. La primera curva se encuentra en escala natural y la segunda en escala semi-logarítmica. De hecho las diferencias principales entre la curva real del suelo en el campo y la obtenida en laboratorio proceden de la posible alteración de la muestra del terreno durante su extracción y manipulación.”

“Para transformar la curva de laboratorio en curva de campo que representa el comportamiento del terreno “in situ” se llevan a cabo algunas correcciones gráficas.”

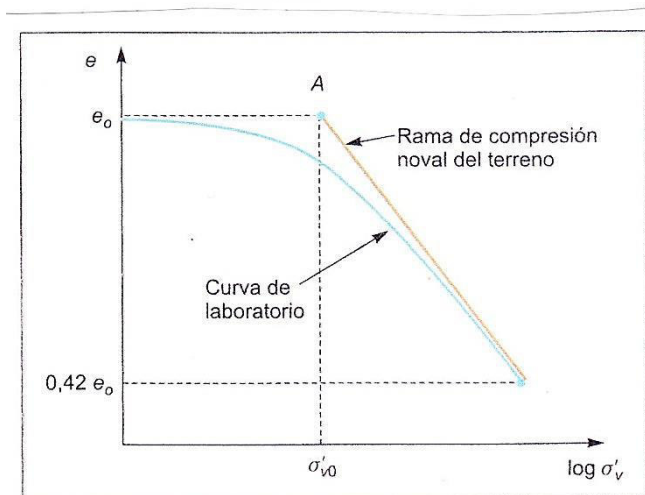
ILUSTRACION N° 39 Representaciones de un ensayo edométrico

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002



Obtención de la curva de campo en suelos normalmente consolidados:

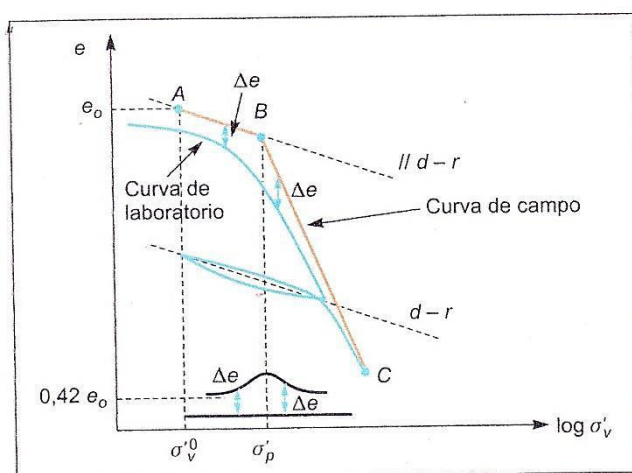
La curva respectiva que es la curva noval se muestra a continuación la ilustración N° 40



ILUSTRACION N° 40

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

Obtención de la curva de campo en suelos pre-consolidados y determinación de la presión de pre-consolidación: Esta curva se muestra a continuación y en donde se puede determinar la presión de pre-consolidación.



ILUSTRACION N° 41

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

3) Parámetros de Compresibilidad del suelo

Gonzales de Vallejo dice al respecto:

“Índices de compresión y entumecimiento.- Una vez obtenida la curva de campo del terreno se pueden obtener los índices de compresión y entumecimiento determinando las pendientes de las ramas de descarga-recarga y de compresión noval correspondientes.” Para ello basta con seleccionar dos puntos en c/u de las ramas y emplear las relaciones o fórmulas de ellas.

Módulo de compresibilidad volumétrica y módulo edométrico.- Son otros parámetros que sirven para relacionar los incrementos de deformación y los incrementos de tensiones efectivas en condiciones de carga unidimensional. El módulo de compresibilidad volumétrica se define como el inverso del módulo edométrico

4) Estimación de los tiempos de consolidación

Gonzales de Vallejo Explica:

En un suelo poco permeable y saturado el incremento de tensión efectiva y el asiento asociado tras la aplicación de una carga no se produce instantáneamente sino que tarda en completarse. Esto se puede estudiar fácilmente con el edómetro.

La mayor o menor velocidad de asentamiento de un suelo depende del Coeficiente de Consolidación C_v

$$C_v = K_v E_m / \gamma_w$$

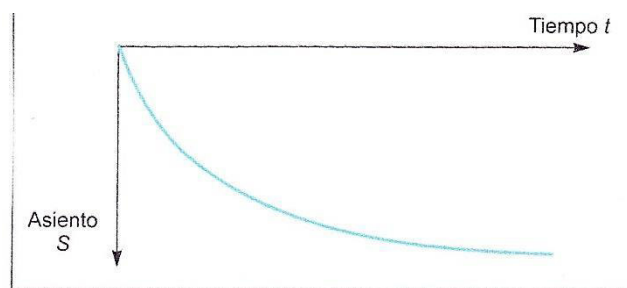
Dónde :

K_v es la permeabilidad del suelo en sentido vertical (el drenaje se produce verticalmente, hacia las piedras porosas)

E_m es el módulo edométrico del suelo

γ_w es el peso específico del fluido intersticial (agua)

“Ya se ha visto que el módulo edométrico del suelo varía durante el proceso de consolidación al ir aumentando la tensión efectiva vertical. Por el contrario la permeabilidad del suelo K_v disminuye (el suelo se hace más impermeable cuando más comprimido está). En escalones no demasiado grande el producto $K_v \cdot E_m$ permanece aproximadamente constante por ello se supone que C_v también permanece constante. En los primeros momentos tras la aplicación de una carga la sobrepresión del agua es máxima y por lo tanto el flujo de agua es rápido y la velocidad de asentamiento o consolidación también”. Al disminuir la presión del agua disminuye la velocidad del asentamiento ello puede observarse en el siguiente gráfico:



ILUSTRACION N° 42

Fuente: Gonzales de Vallejo 2002

Este gráfico representa el aspecto típico de la relación asiento-tiempo. Se acostumbra medir el tiempo en escala logarítmica (método Casagrande). De esta curva se puede deducir el coeficiente de consolidación. Se llama grado de consolidación U a la relación siguiente:

$$U = S_t / S_{\infty}$$

El grado de consolidación de una capa se mide en la relación entre el asiento en un tiempo determinado (S_t) y el asiento total (S_{∞}) que se producirá cuando se disipen las presiones.

3.6.2 Sobre los Asentamientos

Los asentamientos son problemas complejos que se presentan en la relación tierra-estructura. La mayoría de los daños se presentan porque no se han efectuado investigaciones apropiadas del suelo y no haberse identificado el comportamiento del suelo.

Pueden presentarse asentamientos totales y diferenciales.

A. Causas de los Asentamientos

Sowers hizo un estudio bien detallado de las causas de los asentamientos, ha sido citado por varios autores y lo presento en el cuadro N°19

Las causas principales de asentamientos según Sowers son tres: Debido a la carga estructural, debido a carga del medio y las que son independientes de la carga. Es interesante mencionar de que en la causa estructural se menciona a la consolidación en sus diversos estados inicial, primaria y secundaria.

Indudablemente de que para la cimentación de torres y postes mayormente superficiales no se adecuan todas las causas.

Cuadro N° 19

CAUSAS DEL ASENTAMIENTO

| Causa | Forma como se produce | | Magnitud del asentamiento | Velocidad del asentamiento |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Carga estructural | Deformación (cambio de la forma de la masa de suelo) | | Calcular por la teoría elástica (incluida parcialmente en la consolidación) | Instantánea |
| | Consolidación: cambio en la relación de vacíos por el esfuerzo | Inicial | Curva esfuerzo-relación de vacíos | De la curva de tiempo |
| | | Primaria | Curva esfuerzo-relación de vacíos | Calcular por la teoría de Terzaghi |
| | | Secundaria | Calcular por la curva log. tiempo-asentamiento | Calcular por la curva log. tiempo-asentamiento |
| Carga debida al medio | Retracción debida al secamiento | | Estimar por la curva de esfuerzo-relación de vacíos o humedad-relación de vacíos y límite de pérdida de humedad-límite de retracción | Igual a la velocidad de secamiento. Rara vez se puede estimar |
| | Consolidación debida al descenso del nivel freático | | Calcular por la curva de esfuerzo-relación de vacíos y cambio de esfuerzo | Calcular por la teoría de Terzaghi |
| Independiente de la carga (aunque puede ser agravada por la carga) frecuentemente relacionada con el medio, pero no dependiente del mismo. | Reorientación de los granos; choque y vibración | | Estimar el límite por compacidad relativa (hasta 60-70%) | Errática, depende del choque y de la densidad relativa |
| | Colapso de la estructura del suelo; pérdida de la ligazón entre los granos (saturación, deshielo, etcétera) | | Estimar sensibilidad y posiblemente magnitud límite | Comienza con cambio de ambiente, velocidad errática |
| | Desmoronamiento, erosión en aberturas, cavidades | | Estimar sensibilidad, pero no magnitud | Errática; gradual o catastrófica, frecuentemente aumenta |
| | Descomposición bioquímica | | Estimar sensibilidad | Errática; frecuentemente decrece con el tiempo |
| | Acción química | | Estimar sensibilidad | Errática |
| | Colapso de la masa: colapso de alcantarilla, mina, caverna | | Estimar sensibilidad | Probablemente sea catastrófica |
| | Distorsión de la masa, fluencia por cortante | | Calcular sensibilidad por análisis de estabilidad | Errática: catastrófica a lenta |
| | Expansión: heladas, expansión de la arcilla, acción química (se parece al asentamiento). | | Estimar sensibilidad, algunas veces magnitud límite | Errática; aumenta con tiempo húmedo |

B. Asentamientos diferenciales

El asentamiento diferencial o relativo entre distintas partes de la estructura es de mayor trascendencia para la estabilidad de la super-estructura que la que ocurre en un asentamiento total. Generalmente si se produce un asentamiento total en toda el área de la cimentación con una misma magnitud no se presenta efecto nocivo para la super-estructura. Pero si se presenta un asentamiento diferencial se originan sobre-esfuerzos en la estructura en el área de cimentación no en forma equilibrada. Si estos asentamientos diferenciales son excesivos podría hasta colapsar la estructura.

El autor colombiano Manuel Delgado Vargas en su obra "Ingeniería de Cimentaciones" de 1999 presentó un cuadro sobre las causas de los asentamientos diferenciales que a continuación expongo en el cuadro N°20. Dicho autor en su obra expone en forma amplia toda la problemática de los asentamientos presentando modelos de análisis de asentamientos en suelos cohesivos y granulares.

CUADRO N° 20

Causas de asentamientos diferenciales de fundaciones

| Causa | Descripción del mecanismo |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Variación del espesor y características del estrato compresible. | Asentamiento proporcional al espesor. Puede ser convexo, cóncavo y por ladeamiento. |
| 2) Variación en las presiones de fundación, en el contacto fundación-suelo. | Distribución no uniforme de presiones generada por las cargas. Por ejemplo, edificios con secciones más altas. |
| 3) Grandes áreas cargadas sobre fundaciones flexibles. | Asentamiento cóncavo de fundaciones de placa corrida o fundaciones aisladas de columnas de gran área. |
| 4) Diferencia entre tiempos de construcción para diferentes partes de una estructura. | Mayor asentamiento en la parte reciente que en la antigua, donde ya se desarrolló. Por ejemplo: extensiones construidas varios años después de la parte original. |
| 5) Variaciones en la condiciones de compresibilidad del sitio. | Construcción sobre áreas previamente ocupadas por cargas pesadas, que sobreconsolidaron los mantos compresibles. Remoción de un espesor excesivo de sobrecapa debajo de parte de un edificio. |
| 6) Variaciones en las condiciones de compresibilidad generadas por operaciones constructivas. | Descompresiones por excavaciones aledañas. Expansión y posterior recompresión generadas por la excavación para construir la fundación. |

3.7 SOBRE LA CIMENTACION EN LOS PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS

3.7.1 Factores que determinan el tipo de cimentación

El tipo de cimentación que más conviene para una estructura determinada depende de varios factores: su función, las cargas que debe soportar, las condiciones del subsuelo y el costo de la cimentación.

Según Peck et al el ingeniero debe dar los siguientes pasos:

- 1º Obtener información aproximada sobre la superestructura y de las cargas.
- 2º Conocer las condiciones del subsuelo en modo general.
- 3º Considerar los tipos de cimentación que podrían usar y si pudiera experimentar asentamientos perjudiciales y de igual modo de capacidad portante del subsuelo.
- 4º Estudios más detallados que conduzcan a la definición del tipo de cimentación (zapatas, parrilla etc).
- 5º Hacer una estimación del costo de alternativas.

Capacidad de carga y asentamiento

Después de decidir un tipo de cimentación es preciso si este tipo de cimentación funcione adecuadamente frente a dos problemas: a falla por capacidad de carga y el otro asociado a las características de la relación de esfuerzo-deformación del suelo o roca conocido como asentamiento perjudicial. Frecuentemente estos dos tipos de problemas están íntimamente relacionados que una distinción entre ellos es solo teórica.

Cargas del proyecto

Una mala definición de las cargas puede afectar a la cimentación de tal modo que puede ser necesario cambiar el tipo de cimentación a usarse. Del mismo modo una mala interpretación de las condiciones del suelo puede

resultar un aumento de los asentamientos. Por otro lado se estima el factor de seguridad 3 y no debe ser menor de tal cifra.

3.7.2 Características generales de los diversos tipos de suelos que existen

A) Introducción

En este rubro se describen las características de los diversos tipos de suelos que existen en la naturaleza.

Se presentan dos cuadros: uno de los suelos gruesos y otro de los suelos finos. Estos cuadros presentan las características sobre su granulometría y otras propiedades. Estos cuadros han sido tomados de la obra “Mecánica de Suelos Aplicada a Cimentaciones Superficiales” correspondiente a un curso de especialización dictado en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2000.

B) Tabla sobre las Características Generales de los Suelos Gruesos

CUADRO N° 21

| Fracción | Granulometría | Propiedades |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bloques | Redondeados a angulosos, formados por rocas duras; gran tamaño y diámetro medio, superior a 30 cm. | Los bloques y boleos son elementos muy estables utilizados para terraplenes, balastros y para estabilizar taludes (enrocamientos). Debido a su tamaño y peso su presencia en los depósitos naturales de suelo tiende a mejorar la estabilidad de las cimentaciones. La angularidad de las partículas aumenta la estabilidad. |
| Boleos, bolos | Redondeados a angulosos, procedentes de rocas duras; diámetros medio, inferior a 30 cm pero superior a 15 cm. | |
| Gravas | Redondeada a angulosa, procedente de rocas duras; pasa por el tamiz de 3" (76,2 mm) y es retenida por el tamiz No. 4 (4,76 mm). | La grava y la arena tienen esencialmente las mismas propiedades ingenieriles aunque en grados diferentes. El tamiz No. 4 es una división arbitraria y no corresponde a un cambio apreciable de propiedades. Son fáciles de compactar, resultan poco afectadas por la humedad y no están sujetadas a la acción de la helada. Las gravas suelen ser más estables frente al flujo de agua y más resistentes a la erosión y a la tubificación que las arenas. Las arenas y gravas bien gradadas son generalmente menos permeables y más estables que aquellas deficientemente gradadas (granulometría uniforme). La irregularidad de las partículas hace aumentar ligeramente la estabilidad. La arena fina uniforme tiene características próximas a un limo: es decir, disminuye su permeabilidad y reduce su estabilidad al aumentar la humedad. |
| Gruesa | Entre los tamices 3" a 3/4" (76,2 a 19 mm) | |
| Fina | Entre los tamiz 3/4 y No. 4 (19 mm a 4,76 mm) | |
| Arenas | Redondeada a angulosa, procedente de rocas duras; pasa por el tamiz No.4 (4,76 mm) y es retenida por el tamiz No. 200 (0,074 mm). | |
| Gruesa | Tamices No. 4 a 10 | |
| Media | Tamices No. 10 a 40 | |
| Fina | Tamices No. 40 a 200 | |

C) Tabla sobre las Características Generales de los Suelos Finos

CUADRO N° 22

| Fracción | Granulometría | Propiedades |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Limo | <p>Partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0,074 mm).</p> <p>Indentificables por su comportamiento: es decir, ligeramente plásticas o sin plasticidad cualquiera que sea la humedad y con escasa o nula resistencia al secarse al aire.</p> | <p>El limo es inestable por su propia naturaleza, particularmente cuando aumentan la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es relativamente impermeable, difícil de compactar, muy susceptible a la acción de la helada, fácilmente erosionable y sujeto a la tubificación y embullición. Los granos de forma cúbica reducen la compresibilidad; los granos lajosos, como la mica, diatomeas, etc, aumentan la compresibilidad, dan lugar a un limo "elástico"</p> |
| Arcilla | <p>Partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0,074 mm) .</p> <p>Indentificables por su comportamiento: es decir, puede conseguir que presenten propiedades de una amplia gama de humedades y considerable resistencia al secarse al aire.</p> | <p>La característica diferenciante de la arcilla es la cohesión o resistencia cohesiva, que aumenta al disminuir la humedad. La permeabilidad de la arcilla es muy baja, es muy difícil de compactar en estado húmedo e imposible de drenar por métodos ordinarios: compactada es resistente a la erosión y a la tubificación, no es susceptible a hinchamientos por efecto de la helada. Está sometida a expansión y retracción con las variaciones de humedad. Las propiedades dependen no sólo del tamaño y forma (partículas laminadas, lajosos), sino también por su composición mineral, es decir, el tipo de mineral arcilloso y el medio químico o la capacidad de intercambio iónico. En general el mineral arcilloso montmorillonita tiene el mayor efecto sobre las propiedades, siendo este efecto mínimo en el caso de la illita y la caolinita .</p> |
| Materia Orgánica | <p>Materia orgánica de diversos tamaños y en diversas fases de descomposición.</p> | <p>La presencia de materia orgánica incluso en cantidades moderadas hace aumentar la compresibilidad y reduce la estabilidad de las fracciones finas del suelo. Puede descomponerse creando vacíos y haciendo variar las propiedades de un suelo por alteración química por lo cual los suelos orgánicos no son adecuados para usos ingenieriles.</p> |

3.7.3 La cimentación en arcillas y limos plásticos

La cimentación en arcillas y limos plásticos tienen características semejantes con fines de cimentación. Las arcillas son solo semejantes a aquellos limos que son plásticos. Los limos no plásticos se asemejan a las arenas finas y se estudian dentro del grupo de las arenas.

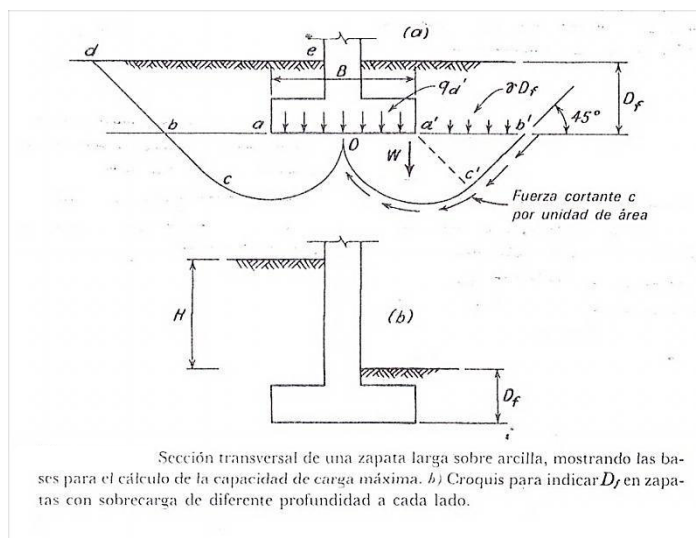
Las arcillas se pueden encontrar en estados que varían entre los blandos normalmente consolidados a los duros pre-consolidados. Las arcillas pre-consolidadas pueden tener defectos estructurales como las grietas, las que influyen negativamente en su resistencia. La plasticidad de los limos plásticos pueden deberse a un alto % de partículas en forma de láminas o a la presencia de materia orgánica.

En varias circunstancias pueden usarse para zapatas, losas y pilotes que sustentan estructuras de líneas de transmisión. El asentamiento que sufra depende de la compresibilidad que tenga el suelo y ella depende de la historia geológica de las cargas del suelo.

Nota.-Las explicaciones y gráficos sobre la cimentación en arcillas y limos plásticos que se está exponiendo como la de arenas y limos no plásticos que se expondrán luego se basan principalmente en la obra “Ingeniería de Cimentaciones” de Peck, Hanson y Thornburn.

Zapatas en arcillas.-La figura líneas abajo representa la sección transversal de una zapata larga de ancho B apoyada a una profundidad D_f debajo de la superficie del terreno. A la cantidad se le llama “profundidad de desplante”. Su significado en una zapata con profundidades diferentes en los dos lados lo muestra la parte b de la figura. Se supone que el suelo que está debajo de la base de la zapata es arcilla intacta sin defectos estructurales y su grado de saturación es prácticamente la unidad. Si falla la zapata mostrada en la parte “a” de la figura debe desalojarse hacia arriba y a la izquierda una cuña de suelo “Ocbde” como se muestra en el lado izquierdo de la figura. El peso

de la cuña y la resistencia al corte del suelo a lo largo de "Ocbd" tienden a resistirla falla.



ILUSTRACION N° 43

Fuente: Zapata en arcillas. Peck et al Ing. de Cim. 1996

Se supone como se ilustra a la derecha de la figura superior "a" que la influencia del suelo arriba del nivel de la base de la zapata puede remplazarse por una sobrecarga uniforme γD_f . La teoría y la experimentación indican entonces que la superficie de deslizamiento consta de una sección circular Oc' y una sección recta $c'b'$, que forma un ángulo de 45° con la horizontal.

Todas las fuerzas que actúan en la masa deslizante $Oc'b'a'$ se muestran en la figura. Puede utilizarse la condición de que estas fuerzas deben estar en equilibrio, para evaluar la capacidad de carga máxima q_d' . Las fuerzas normales que obran en la superficie de deslizamiento no pueden producir resistencia al esfuerzo cortante por fricción debido a la suposición de que $f_i = 0$. Por otra parte obra una resistencia al corte c por unidad de área a lo largo de la superficie que se opone al deslizamiento. El resultado de la evaluación con duce a la expresión:

$$q_d' = CN_c + \gamma D_f$$

Se define la capacidad de carga máxima neta q_d como la presión que puede aplicarse en la base de la zapata en exceso a la existente al mismo nivel debido a la sobre-carga circundante, por lo tanto:

$$q_d = q_d' - \gamma D_f \quad \text{y} \quad q_d = C N_c$$

Para hacer resaltar la diferencia entre q_d y q_d' la última se conoce como capacidad de carga máxima global. En la segunda ecuación N_c es un factor de capacidad de carga adimensional. En una zapata N_c varía algo con la relación del ancho B a la longitud L y con el espesor de la sobre-carga D_f . El factor de seguridad contra falla por capacidad de carga debe ser del orden de 3. La presión admisible en el suelo q_a puede por lo tanto tomarse como un tercio de la presión máxima:

$$q_a = C N_c / 3$$

Si la arcilla contiene grietas no es recomendable ensayos de resistencia al esfuerzo cortante no drenado porque la resistencia no será exacta debido a los defectos de la arcilla. Para ello es mejor efectuar una prueba de carga como se muestra en el grafico siguiente

ILUSTRACION N° 44

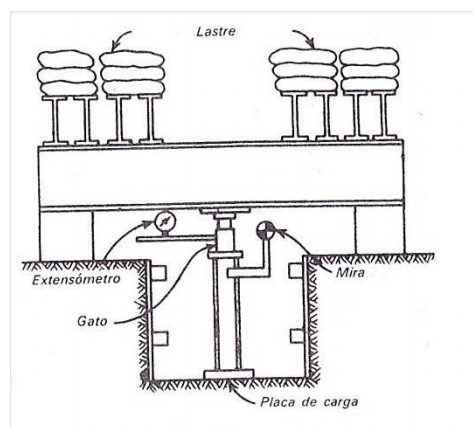


Figura 18.4. Instalación para hacer una prueba de carga en arcilla fisurada.

Fuente: Zapata en arcillas. Peck et al Ing. de Cim. 1996

Losas en arcilla. La presión máxima neta que puede soportar un suelo debajo de una losa se calcula semejante a la que se hace para las zapatas. El factor seguridad es mejor que para las zapatas.

Pilotes en arcillas.-Si el sub-suelo es una arcilla demasiado débil o muy compresible para soportar zapatas o losas es preferible utilizar pilotes. Para determinar la carga admisible en un suelo para pilotes lo recomendable es hacer una prueba de carga aunque esta resulta muy cara.

Existe en el mercado pilotes de madera y de concreto. También se utilizan pilotes para soportar estructuras de zapatas para torres o postes de líneas de transmisión. Generalmente se utilizan varios pilotes que se hincan simultáneamente y juntos. La especialidad de cimentaciones con pilotes es una sub-especialidad dentro de la ingeniería de cimentaciones.

3.7.4 Cimentaciones en arenas y limos no plásticos

Se puede cimentar con zapatas, losas y pilotes en arenas. La elección depende básicamente de 2 factores: la compacidad relativa de la arena y de la posición del nivel freático. La compacidad relativa de la arena determina su capacidad de carga y asentamientos sean zapatas, losas y pilotes e incluso la resistencia de los pilotes.

El nivel freático es importante pues suponiendo que tenga que excavarse debajo de su nivel requiere previamente drenar el agua subterránea y ello aumenta el costo de la cimentación.

Los limos no plásticos y sin cohesión tienen la mayor parte de las características de la arena fina. En general se considera a las arenas y los limos no plásticos como sinónimos para la cimentación.

Cimentación en arenas con zapatas.- Cuanto más ancha la zapata mayor es su capacidad de carga por unidad de área. De acuerdo a investigaciones la presión sobre el suelo aumenta al aumentar el ancho de la zapata pero luego llega a un límite y el riesgo de asentamiento disminuye. Pero este comportamiento es generalmente válido aunque influyen otros factores como la compacidad relativa de las arenas, la profundidad y el nivel freático.

La presión que produce un asentamiento en una arena suelta es menor que el que sufre una arena compacta. Por tanto habrá una relación entre la presión del suelo que produzca un asentamiento y los valores de N de las pruebas de penetración estándar (Obtenido por Terzaghi y Peck). Se considera que un asentamiento máximo de 2.5 cms. es aceptable.

No existe una teoría rigurosamente correcta para calcular la capacidad máxima de carga de una zapata.

La capacidad de carga de una zapata en arena depende de 4 variables: la posición del nivel freático, la compacidad relativa de la arena, el ancho de la zapata y el espesor de la sobre-carga que la rodea.

Cimentación en arenas con losas.-Debido al gran tamaño de las losas comparado con el de las zapatas el factor seguridad contra una falla por capacidad de carga en arena es siempre grande es decir en las losas la seguridad es mayor que en las zapatas. Si el ancho de la losa es de solo 6.0 m., la profundidad de 3.0 m. y el número de golpes a 10 o más, la capacidad de carga máxima en arena sumergida es mayor de 68 ton/ m. cuadrado. Al aumentar el ancho de la losa o la compacidad relativa de la arena la capacidad de carga máxima aumenta rápidamente. Por lo expuesto el peligro de que una losa grande pueda fallar en arena es demasiado remoto.

La probabilidad de asentamiento diferencial en la losa es inferior que en las zapatas. El asentamiento máximo de una losa es de 5 cm. en tanto que en las zapatas es de 2.5 cm.

Cimentación en arenas con pilotes.-Los pilotes pueden hincarse a través de arenas blandas o compresibles hasta que halle una capa compacta a la que pueda transferir el peso. El hincar pilotes en arena suelta se usa también para compactar el suelo arenoso. No es posible estimar la carga que puede soportar un pilote hincado hasta que encuentre una arena dura. Lo mejor es hacer una prueba de carga. La carga límite debe basarse en el valor de asentamiento que puede considerarse tolerable.

Cuando se hince un pilote en una capa de arena suelta se compacta el material en parte debido a la disminución en la relación de vacíos necesaria para compensar el volumen del pilote y en parte por el efecto compactador de las vibraciones producidas por el hincado. Si alguna estructura se va a apoyar en zapatas sobre pilotes, estas deben hincarse en grupos y los pilotes más interiores de cada grupo deben hincarse primero para obtener la máxima y más uniforme compactación debajo de la zapata. Si se va a apoyar una estructura sobre una losa y esta sobre pilotes estos deben estar uniformemente espaciados. Los pilotes se hincan a las capacidades que indican fórmulas especiales.

Si se va a compactar arena fina o limo por medio de pilotes es necesario reducir la rapidez del avance de la obra para dar tiempo a que el agua se drene, de lo contrario el suelo se convertirá en un lodazal.

3.7.5 La Cimentación en Suelos Heterogéneos

Este sub capítulo está basado en la obra “Ingeniería de Cimentaciones” de Peck, Hanson y Thorburn”

A) Introducción

En los subtítulos anteriores referentes a los suelos arcillosos y arenosos se supuso que el suelo era relativamente uniforme hasta una gran profundidad o hasta una profundidad limitada donde se hallaba una base firme. En la práctica real estas condiciones son raras, que se pueden considerar excepciones y lo más común es que se hallen capas heterogéneas. Sin embargo las situaciones presentadas en los subtítulos anteriores sirven para estimar las cimentaciones en suelos heterogéneos.

La mayor parte de los suelos con capas heterogéneas se componen de estratos diferentes definidos o lenticulares.

Algunas capas pueden resultar bastante resistentes e incompresibles y otras débiles y compresibles. Generalmente se efectúan previamente sondeos de exploración combinados con pruebas SPT y ensayos de laboratorio sencillos

para conocer la secuencia de estratos y luego la atención se tiene que dar a las capas débiles compresibles.

La tarea principal del geotécnico antes de elegir el tipo de cimentación consiste en determinar la influencia de las capas débiles esto puede hacerse primero estimando o calculando los esfuerzos en el subsuelo suponiendo que es uniforme y elástico, segundo evaluar las propiedades físicas de las capas dudosas con el apoyo de la información de los sondeos de exploración o SPT y luego determinar su capacidad para resistir los esfuerzos sin fallar ni deformarse excesivamente. El resultado de estas investigaciones usualmente es suficiente para seleccionar el tipo de cimentación adecuado. Algunas veces se hace necesario efectuar exploraciones más elaboradas y pruebas del suelo. A continuación veremos las clases más importantes de suelos heterogéneos.

B) Estratos de suelos blandos sobre estratos duros

En este caso la situación es clara y se estima dar el apoyo necesario. La decisión principal es si puede o no usarse una cimentación con zapatas. Esto puede hacerse calculando la capacidad de carga admisible del suelo superior en el supuesto de que este suelo débil se extienda a gran profundidad y estimando el asentamiento que se produciría por la consolidación del suelo blando. Si el asentamiento calculado es demasiado grande las zapatas quedarían fuera de consideración. Una alternativa de solución en tal caso sería el uso de pilotes. Otra sería reducir por excavación la carga en el subsuelo y construir una cimentación flotante.

C) Estratos de suelos duros sobre estratos blandos

Esta situación no es perceptible y debe averiguarse. Si el depósito duro es delgado las zapatas o losas pueden ejercer suficiente presión para hacer fallar pasando hasta el suelo blando subyacente. Se reporta que este caso se ha presentado varias veces. Aun si la capa firme es suficientemente

gruesa podría evitar la falla pero no asentamiento de la estructura debido a la consolidación del depósito blando.

El factor seguridad contra falla puede estimarse conservadoramente determinando las presiones en la frontera superior del estrato blando. La presión máxima no debe exceder a la capacidad de carga admisible del material blando determinado por procedimientos ya conocidos.

Si las zapatas están muy separadas y el estrato duro es muy delgado el esfuerzo en el lecho superior del suelo blando puede disminuirse aumentando el tamaño de las zapatas. Si la presión sobre un estrato blando subyacente no puede reducirse hasta su capacidad de carga admisible aumentando el tamaño de las zapatas se requerirá un apoyo o uso de pilotes.

Si el asentamiento calculado no es excesivo y si el estrato firme es lo suficiente grueso para impedir una falla por falta de capacidad de carga las cimentaciones pueden proyectarse como si el depósito blando no existiera.

D) Estratos duros y blandos alternados

Si el subsuelo contiene varios estratos débiles pueden hacerse cálculos de capacidad de carga y de asentamientos para c/u de ellos.

Si la estructura no puede apoyarse en zapatas desplantadas cerca de la superficie, pueden usarse pilotes para transmitir la carga a uno de los estratos duros a suficiente profundidad para que proporcione cimentación satisfactoria. La elección del tipo de pilote depende de la dificultad que pueda experimentar al hacer el hincado a través de los estratos duros.

3.8 CIMENTACIONES EN SUELOS DIFICILES Y TRATAMIENTO

3.8.1 Ataque químico por suelos y aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son mas agresivas que los suelos químicamente. Los ataques químicos pueden ser ácidos, por sulfatos, por cloruros y por sales solubles totales.

Ataque acido.- Para conocer este tipo de ataque químico se hace un análisis del pH del suelo u agua subterránea. En el caso que el pH nos da menor de 7 indica que hay un medio ácido y si fuera mayor de 7 el medio sería básico. En el caso específico que el pH sea menor de 4 se debe proponer medidas de protección para proteger el concreto de la cimentación, entonces se debe recomendar el uso de cementos especiales en la preparación del concreto

Ataque por sulfatos SO_4 .- La mayor parte de procesos de destrucción causados por sales son debidos a la acción de los sulfatos. La corrosión por sulfatos hace que la pasta de cemento aumente de volumen, se desmorone, se ablande y forme grietas.

Ataque por cloruros.- El ataque químico de los cloruros se restringe al ataque al acero de refuerzo del concreto armado.

Ataque de sales solubles totales (s.s.t.).- Tanto el análisis del s.s.t. como de los sulfatos y de los cloruros se miden en partes por millón (p.p.m.).

Máximos Valores Químicos de suelos tolerables en el Perú

Tomando en cuenta la referencia del Laboratorio de Suelos de la Universidad de La Molina exponemos el siguiente cuadro:

CUADRO No 23
MAXIMOS VALORES QUIMICOS DE SUELOS TOLERABLES EN EL
PERÚ

| ANALISIS EFECTUADOS | MAXIMOS VALORES TOLERABLES EN EL Perú | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | MTC | RIVVA5 |
| SALES SOLUBLES EN TOTALES SST. | 1500 ppm | 300 ppm |
| CLORUROS | 300 ppm | 300 ppm |
| SULFATOS | 300 ppm | 50 ppm |
| Ph | No menor 7 | No mayor 8 |

Nota.-RIVVA 5 para concretos que han de estar expuestos a ataques por Sulfatos

Fuente: Laboratorio de Suelos Univ. La Molina

3.8. 2 Suelos colapsables

Son suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones: a) al ser sometidas a un incremento de carga o b) al humedecerse o saturarse. En los lugares donde sea evidente la ocurrencia de hundimientos es recomendable hacer un análisis para la determinación de la plasticidad del suelo (ASTM D4318) del ensayo para determinar el peso volumétrico y del ensayo de humedad (ASTM D2216) con el fin de evaluar el potencial de colapso del suelo en función del Límite Líquido y del peso volumétrico seco. No se recomienda cimentar sobre suelos colapsables. Cuando el suelo colapsable es de poca profundidad estos pueden ser retirados en su totalidad, se remplazaran por rellenos controlados y compactados adecuadamente con el método de Ensayo Proctor Modificado de acuerdo al mayor o menor de 12 % de finos. Cuando se requiere verificar la compactación puede hacerse un ensayo de penetración estándar.

3.8.3 Suelos Expansivos

Son suelos cohesivos con bajo grado de saturación que aumenta de volumen al humedecerse o saturarse. En aquellos lugares en donde los suelos cohesivos tienen bajo grado de saturación y plasticidad (Limite Líquido mayor o igual a 50) se debe realizar un análisis del suelo basado en la determinación de la plasticidad y ensayo de granulometría por sedimentación con el fin de evaluar el potencial de expansión del suelo cohesivo en función del % de partículas menores de 2 micras, del índice de plasticidad (IP) y de la actividad de la arcilla.

Cuando existen evidencias de la existencia de suelos expansivos debe sustentarse su evaluación mediante los resultados del ensayo para la Determinación del Hinchamiento Unidimensional del suelo cohesivo según ASTM D4648.

Las muestras a emplearse deben ser inalteradas. No es permitido cimentar sobre suelos expansivos. Cuando se halla suelo expansivo de poca profundidad este debe ser retirado y remplazado por rellenos controlados y compactados adecuadamente.

3.8.4 Licuación de suelos

Los suelos granulares finos y algunos suelos cohesivos que se hallan debajo de la napa freática bajo la actividad sísmica pueden originar su licuación. Este consiste en la pérdida momentánea de la resistencia al corte del suelo como consecuencia de la presión de poros que se genera en el agua contenida en sus vacíos originada por la vibración que produce el sismo. Esta pérdida de resistencia al corte genera la ocurrencia de grandes asentamientos en las obras sobreyacientes.

Para que un suelo granular sea susceptible de licuar durante un sismo debe presentar simultáneamente las siguientes características: Debe estar constituida por arena fina, arena limosa, arena arcillosa, limo arenoso no

plástico y debe hallarse sumergido. Ello debe justificarse mediante el Análisis de Potencial de Licuación.

Cuando en un lugar se sospecha la posibilidad de licuación debe efectuarse un trabajo de campo. Se deben hacer perforaciones con la técnica de lavado o rotativa y debe hacerse ensayo de penetración estándar espaciado cada metro. Las muestras que se obtengan deben recuperarse. El análisis del potencial de licuación se debe realizar con el método recomendado por Seed e Idriss. Este método involucra el uso de la resistencia a la penetración estándar N (número de golpes del ensayo SPT). Este método permite calcular el esfuerzo cortante inducido por el sismo en el lugar y a partir de la resistencia a la penetración estándar normalizada.

3.9 CIMENTACION SOBRE TALUDES

3.9.1 Introducción

En este sub-capítulo se presenta una descripción del comportamiento de la cimentación sobre y/o cerca de taludes de tierra y de algunos problemas que se deben analizar para tener un buen criterio en el diseño y construcción de la cimentación en dichos taludes. Este tema también interesa a la cimentación de las estructuras de líneas de transmisión si es que se va a hacer sobre taludes de tierra.

3.9.2 Efectos del talud sobre la cimentación

La ingeniería de cimentaciones se había concentrado principalmente en el análisis y diseño de cimentaciones sobre áreas planas y es relativamente reciente el tratamiento de cimentaciones sobre taludes de tierra. La diferencia fundamental de una cimentación en terreno en terreno plano y sobre talud es la falta de confinamiento lateral para el suelo de la cimentación en el caso del talud. Esta falta de confinamiento puede generar varios problemas y los principales son:

Presencia de esfuerzos de tensión en el suelo de cimentación y posibilidad de agrietamiento del suelo, la cimentación y la estructura.

Disminución de la capacidad de soporte del suelo de cimentación debido a la presencia del talud.

Efecto negativo de los esfuerzos sísmicos sobre la estabilidad de las cimentaciones especialmente sobre su capacidad de soporte.

3.9.3 Efectos de la cimentación sobre la estabilidad del talud

La estabilidad de un talud puede afectarse por la excavación para la construcción de los cimientos y por las cargas impuestas por estos. La estabilidad del talud debe chequearse para cimentaciones si el ángulo del talud es mayor a $\frac{1}{2} \phi$ (Abramson y otros ,2002). En estos casos la cimentación puede considerarse como una carga que se debe incluir en el análisis de la estabilidad del talud.

Para minimizar el efecto de las excavaciones es recomendable realizarlas en tramos cortos y construir estructuras de contención o cimientos rápidamente.

3.9.4 Capacidad de soporte de las cimentaciones sobre taludes

La capacidad de soporte de un suelo en talud es inferior a la capacidad de soporte del mismo suelo en topografía semiplana. Lamentablemente en la práctica de la ingeniería es común que se utilice en talud los mismos valores de capacidad de soporte para terreno plano lo cual es un gran error del cálculo de la capacidad portante del suelo en un talud. Hay diversos métodos para el cálculo de la capacidad de soporte del suelo en talud como son Meyerhof (1957) y Bowles (1996).

En líneas de transmisión es preferible no cimentar en taludes de tierra. Mayor información sobre cimentación en taludes se encuentra en la obra: “Deslizamientos, Tomo 2: Técnicas de Remediación” por Jaime Suarez de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2009.

3.9.5 Aplicación del Método Mononobe-Okabe en la Cimentación de Torres y Postes en taludes Para líneas de transmisión

El Método Mononobe-Okabe.-Es un método geotécnico empleado en el diseño sísmico de muros de contención.

Mediante este método se estima las presiones laterales activas y pasivas durante los terremotos. Este método resuelve las ecuaciones de equilibrio considerando simples asunciones sugiere las presiones activas y pasivas laterales de tierra.

Este método tiene varias limitaciones por las cuales nos indican que no es aplicable en forma general. Algunas de sus limitaciones son: no es aplicable para suelos cohesivos, el efecto de la mesa de agua detrás del muro de contención no ha sido considerado en su fórmula.

Su aplicación en la Cimentación de Torres Y Postes.- Por lo general para la ubicación de la cimentación de torres y postes de líneas de transmisión en zonas sísmicas el Ing. Geotécnico para lugares con taludes de zonas sísmicas prefiere taludes rocosos que son más estables que en suelos y si tiene que hacerlo sobre talud con suelos debe aplicar el método Mononobe-Okabe con sus limitaciones.

CAPITULO 4.0 EL MODELO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y GEOTÉCNICAS PARA LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS DE LINEAS DE TRANSMISIÓN ELECTRICA Y APLICACIÓN DEL MODELO EN LA LINEA DE TRANSMISIÓN ENTRE HUANCARAMA, CHIPMO Y PORACOTA EN AREQUIPA

4.1 Introducción

Para definir el modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas para la cimentación de estructuras de una línea de transmisión tenemos que considerar la siguiente ecuación:

$$Y=X+Z$$

En donde:

Y: Variable dependiente que representa al modelo de investigaciones geológicas y científicas.

X: conjunto de variables independientes de parámetros geológicos del modelo.

Z: conjunto de variables independientes de parámetros geotécnicos del modelo.

El conjunto de parámetros geológicos (x) comprende todas las investigaciones geológicas importantes tanto en gabinete antes de ir al campo, en el campo y en gabinete después del campo.

El conjunto de parámetros geotécnicos (z) comprende las investigaciones geotécnicas importantes en campo, en laboratorios y en gabinete después de campo.

Debido a las numerosas diferencias que hay entre los proyectos de líneas de transmisión como se explica en el rubro 4.2 Dificultades para un Modelo General, es que no existe un Modelo General para todos los tipos de proyectos de líneas de transmisión.

Sin embargo en el rubro 4.3 Características Básicas para un modelo general se ha presentado una relación de las investigaciones geológicas y geotécnicas más necesarias que deben tomarse en cuenta como referencia.

En un proyecto grande debe tomarse en cuenta la mayor parte de las investigaciones indicadas.

En tanto que un proyecto pequeño se han de tomar en cuenta solo las investigaciones más importantes.

En el subcapítulo 4.4 se ha presentado el estudio de un proyecto pequeño en donde se han tomado en cuenta las investigaciones geológicas y geotécnicas más básicas.

4.2 Dificultades

Las dificultades para tener un Modelo General se deben a la presencia de numerosas variaciones en los factores geológicos y geotécnicos y otros aspectos.

A continuación se presentan las principales dificultades indicadas:

- 1) La magnitud del proyecto sea por su extensión en kilómetros como por la variada tensión conducida. Las líneas con una alta tensión, requieren ser una estructura con mayor tamaño y peso que otra menor
- 2) Las condiciones de riesgo sísmico que son diferentes para la costa, la sierra y selva.

- 3) La dificultad del relieve morfológico del terreno sea costa con planicies, sierra con cordilleras y la selva alta y baja con abundante vegetación.
- 4) La presencia de problemas de Geodinámica Externa por deslizamientos, huaycos, aluviones e inundaciones
- 5) Las condiciones de zonificación geotécnica del trazo
- 6) La disponibilidad de presupuesto

4.3 Características Básicas Para Un Modelo General

A continuación se hace una relación de investigaciones geológicas y geotécnicas que debería tomar en consideración un modelo general.

4.3.1 Investigaciones Geológicas necesarias

A. Investigaciones de Gabinete antes de ir al campo

- 1) Interpretación geológica de imágenes.- Este tipo de investigación se hace imprescindible en localidades inaccesibles como son las cordilleras (usando fotos aéreas) y selvas usando imágenes de radar SLAR (Side looking airborne radar).
- 2) Efectuar el estudio de riesgo sísmico del trazo de línea

B. Investigaciones de Campo

- 3) Efectuar el mapeo geológico del trazo de la línea definiendo los tramos en roca y en suelo
- 4) Ubicación tentativa de calicatas para posterior estudio geotécnico de mecánica de suelos

C. Trabajos de gabinete después de campo

- 5) Preparar el plano geológico del proyecto el cual además de la información geológica debe contener el trazo de la línea con progresivas, ubicación de vértices y calicatas tentativas

4.3.2 Investigaciones Geotécnicas necesarias.

A. Investigaciones de Campo

- 1) En zonas de cimentación en suelos.-Definir la ubicación de calicatas, Excavación de calicatas, Descripción estratigráfica de cada calicata, Muestreos, Ensayos "in situ" (densidad natural o SPT).
- 2) En zonas de cimentación en rocas.- Mapeo de Geología Estructural, Evaluación Geomecánica RMR.

B. Investigaciones de Laboratorios

- 3) Ensayos de Suelos de zonas de cimentación Laboratorio de Mecánica de Suelos.
- 4) Ensayos de suelos y rocas para canteras Laboratorios de Mecánica de suelos y rocas.
- 5) Ensayos de Laboratorios químico para suelos agresivos al concreto.

C. Trabajos de Gabinete después de Campo

- 6) Cálculo de capacidad portante de suelos y estimación de la capacidad portante de rocas.
- 7) Definición del tipo de cimentación superficial más conveniente según el tipo de suelo (arcilloso, arenoso u heterogéneo)
- 8) Preparar el Plano de Zonificación Geotécnica del trazo tomando en cuenta todas las investigaciones hechas.

- 9) Preparar el Plano Geotécnico el cual debe contener: la Zonificación Geotécnica del trazo, Principales características de las zonas Geotécnicas, ubicación de calicatas, progresiva del trazo, etc.

4.4 APLICACIÓN DEL MODELO: GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LA LÍNEA DE TRANSMISION 66 kV S.E. HUANCARAMA-S.E. CHIPMO-S.E. PORACOTA, ORCOPAMPA, AREQUIPA

4.4.1 Objetivos

El presente informe preparado por el autor ha tenido dos objetivos fundamentales:

A) Exponer una cuidadosa evaluación de las condiciones de Geología General del trazo de la línea de transmisión de energía eléctrica a 66 kV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo- S.E Poracota y las sub-estaciones Chipmo y Poracota proyectadas. La S.E. Huancarama ya existe. Esta línea tiene aproximadamente 30.2 kms. de longitud.

B) Exponer las condiciones geotécnicas de la cimentación en rocas y suelos para las estructuras de la línea de transmisión y también de las Sub-Estaciones proyectadas indicadas.

4.4.2 Ubicación

El área que se ha estudiado se halla en el distrito de Orcopampa, provincia de Castilla del departamento de Arequipa. Es accesible por vía carrozable.

4.4.3 Fuentes de Información

Para la ejecución del presente estudio se han utilizado las siguientes fuentes de información:

Como información de Geología General se han consultado los siguientes boletines del INGEMMET:

El boletín N° 46 sobre la Geología del cuadrángulo de Orcopampa por Julio Caldas, 1973 y el boletín N° 50 sobre la Geología del cuadrángulo de Cotahuasi por Enrique Olchousqui, 1984.

Para la información geológica y geotécnica de campo el suscrito viajó al área de estudio del 5 al 11 de Junio del 2005 con un técnico en mecánica de suelos y su equipo. Se efectuó un reconocimiento geológico del trazo luego la ubicación de las calicatas y su excavación para investigación de suelos (ensayos “in situ” y muestreos para laboratorio) cuyos resultados se adjuntan al presente informe. Se tomaron numerosas fotografías que ilustran el informe.

4.4.4 Geología del Proyecto

4.4.4.1 Condiciones regionales

A) Estudios de Gabinete

- a) Estudio Fotogeológico.-** Se efectuó la adquisición de un conjunto de 20 fotografías aéreas del proyecto HYCON de vuelo alto que tienen la escala aproximada 1:40,000. Mediante su estudio bajo el estereoscopio se definió las características geomorfológicas del área del proyecto, también sus patrones de drenaje, rasgos de Geología Estructural, tipos aproximados de litología y depósitos cuaternarios. Luego los datos fueron ploteados en un mapa topográfico a la escala 1:50,000 para constituir un plano fotogeológico del área del proyecto. La información de este plano fotogeológico y el plano geológico del INGEMMET a la escala 1:100,000 sirvieron de base para estudios de campo.

b) Evaluación del riesgo sísmico.- En primer lugar se efectuó una evaluación preliminar del riesgo sísmico consultando el Mapa de Regionalización por Intensidades del Perú por D. Huaco y J. Chávez del Instituto Geofísico del Perú, 1975. Según el mapa indicado el área en estudio se halla en la zona de regionalización sísmica 3 de alta sismicidad, en donde se pueden esperar sismos de valores 8 y 9 en la escala de Mercalli Modificada. Por otro lado efectuando una consulta de mayor precisión utilizando los datos del Instituto Geofísico del Perú en la actualidad se ha obtenido que el área en estudio presenta curvas de isoaceleraciones entre 180 y 200 cm/seg.^2 para un periodo de retorno de 50 años.

B) Estudios de Campo

a) Estratigrafía

A continuación se presentó la forma breve de la descripción de las unidades estratigráficas presentes en el trazo del proyecto. La descripción se refiere a los diversos tipos de rocas y suelos que conforman estas unidades. Empieza por la unidad más antigua y termina con la más joven.

Terciario Medio

Formación Orcopampa: Esta unidad se halló conformada por lavas y brechas volcánicas andesíticas de color morado y algunas capas de tufos volcánicos dacíticos de color blanquecino. Esta unidad aflora en la línea entre los vértices 14 y 16 y en otros puntos en menor extensión.

Formación Alpabamba: Esta unidad en el área se halló mayormente conformada por tufos volcánicos dacíticos de color claro. Aflora en las inmediaciones de la S.E. Poracota. Ver foto 11.

Terciario Superior – Cuaternario Pleistocénico

Grupo Barroso: En la línea esta unidad se halló conformada por lavas andesíticas y aflora cerca de la S.E. Huancarama. Ver foto 2.

Cuaternario Pleistocénico

Depósitos Morrénicos.- Son depósitos abandonados después de la última deglaciación de los Andes. Se han hallado en la línea cerca del vértice 18 y en los alrededores de la S.E. Poracota.

Su composición granulométrica es variada así en las mediaciones del vértice 18 destacan grandes bloques de lava y otros componentes menores pedregosos en tanto que por la S.E. Poracota es mayormente arenosa y con algunas partículas pedregosas pequeñas. Ello se debe al tipo de roca que la erosión glacial ha afectado, las rocas del tipo lava han formado depósitos morrénicos en bloques y las rocas tipo tufo han formado depósitos morrénicos más finos.

Depósitos Fluvio-glaciares: Se han hallado en las nacientes altas de las quebradas Huamaní Huayta y Ciuto cerca de la S.E. Poracota y que la línea cruza. Se hallan conformadas por partículas mayormente arenosas y partículas pedregosas chicas. Ver fotos 12 y 13.

Depósitos aluviales: En las extensas planicies de la quebrada Huancarama y la quebrada algo estrecha Chilcaimarka donde se halla la S.E. Chipmo se han hallado estos depósitos antiguos los cuales mayormente se hallan conformados por partículas pedregosas cantos y hasta bloques con partículas menores. Ver foto 8.

Cuaternario Reciente

Grupo Andahua: Esta unidad volcánica reciente se han hallado mayormente conformada por roca tipo lava. En la línea se ha hallado el volcancito Mauras y el cerro Jullulluyoc. Ver fotos 7 y 9.

Depósitos Coluviales.- Pequeños depósitos en laderas de origen coluvial se han hallado presentes. La línea atraviesa uno de ellos frente a la S.E. Huancarama en donde la composición es mayormente pedregosa.

b. Geología Estructural

El área para el proyecto presenta condiciones geo-estructurales favorables. Las unidades estratigráficas rocosas están con buzamiento sub-horizontal u horizontal y son estables, presentan poco fracturamiento y casi sin fallas. Solo en el sector encañonado del río Huancarama se ha inferido la presencia de una falla pero que no afecta al proyecto.

c. Rasgos Geomorfológicos

El trazo de la línea está situado en una zona entre sierra alta y cordillera de las nacientes del río Orcopampa en la vertiente del Pacífico de la Cordillera Occidental de los Andes. Una descripción de sus sub-unidades geomorfológicas desde la S.E. Huancarama hasta la S.E. Poracota comprendió los siguientes tramos:

- a) Un tramo encañonado del río Huancarama.
- b) Un tramo en planicie del valle Huancarama.
- c) Un tramo en cerro del volcán Mauras.
- d) Un sector en el valle encañonado del río Chicamarca.
- e) Un sector con cerros desde el vértice 11 al 18.
- f) Un sector altiplánico entre los vértices 18 y el pie del cerro Poracota.
- g) Un sector de cerro elevado en Poracota

d. Problemas De Geodinámica Externa

- a) En las inmediaciones del sector para la S.E. Poracota (4961 m.s.n.m.) los suelos morrénicos que son algo permeables están sufriendo humedecimiento debido al derretimiento de costras de hielo vecinas. Este humedecimiento tiende a disminuir la consistencia del suelo.
- b) En los sectores con depresiones en los depósitos fluvioglaciares es recomendable no ubicar estructuras pues en meses lluviosos pueden inundarse.

4.4.4.2 Condiciones de Geología Local Superficial del Trazo

A. Línea de Transmisión S.E. Huancarama-S.E. Chipmo- S.E Poracota

La línea proyectada tiene aproximadamente 30.2 kms. de longitud. Según las observaciones del campo se estima que un 60% de ella se halla sobre superficies rocosas o con cubiertas de suelo de poco espesor y el 40% restante sobre suelos. Las rocas presentes son volcánicas predominando las de tipo lava de las formaciones Orcopampa, Andahua y el Grupo Barroso y en segundo lugar las de tipo tufo de la formación Alpabamba. Entre los suelos presentes predomina los aluviales pleistocénicos, en menor proporción los depósitos morrénicos y fluvioglaciares, también pleistocénicos. En escasa proporción se han hallado depósitos coluviales recientes. El trazo geológicamente presentó 23 tramos los cuales se describen a continuación yendo desde la S.E. Huancarama a la futura S.E. Poracota.

Tramo 1 (Prog. 0 - 40 m.).

Pequeño tramo de aprox. 40 m. en ladera rocosa de pendiente suave en la margen izquierda de la quebrada Huancarama. Las rocas son

volcánicas del tipo lava pertenecientes a la formación Orcopampa y se hallan estables. La quebrada se halló encañonada. Ver foto 1.

Tramo 2 (40 – 70 m.)

Tramo pequeño de aprox. 30 metros en ladera de pendiente suave en la margen derecha del río Huancarama que se halló cubierta por depósitos coluviales pedregosos de escaso espesor.

Tramo 3 (70 – 140 m.)

Tramo de aprox. 70 m. en ladera rocosa con pendiente suave en la margen derecha del río Huancarama y estable. En este tramo se halla el vértice V-1.

Tramo 4 (140 – 570 m.)

Tramo de aprox. 430 m. en ladera de suave pendiente con depósitos coluviales mayormente pedregosos y de poco espesor y estables en la margen derecha del río.

Ver foto 1.

Tramo 5 (570 – 2210 m.)

Tramo con aprox. 1640 m. en que la línea se estimó que debe ir sobre laderas rocosas del tipo lava del Grupo Barroso que va por la margen derecha del río y luego lo cruza y sigue por la margen izquierda. Las laderas son estables aunque el río esta encañonado. En este tramo la línea tiene los vértices V-2 y V-3. Ver fotos 2 y 3.

Tramo 6 (2210 – 7060 m.)

Tramo extenso de aprox. 4850 m. en planicie con depósitos aluviales pleistocénicos mayormente pedregosos estables. En este tramo se han ubicado las calicatas C-1 y C-2. Ver fotos 3, 4,5 y 6.

Tramo 7 (7060 – 8120 m.)

Tramo de aprox. 1060 m. en ladera con rocas volcánicas estables de la formación Orcopampa. En este tramo se halla el vértice V-4.

Tramo 8 (8120 - 10760 m.)

Tramo con aprox. 2640 m. sobre laderas estables del volcán Mauras que se halló conformado por lavas de la formación Andahua, en ella se hallan los vértices V-5, V-6 y V-7. Ver fotos 6 y 7.

Tramo 9 (10760 – 12 860 m.)

Tramo de aprox. 2100 m. en el valle Chilcaimarca desde la S.E. Chipmo hacia aguas arriba. Este tramo se halla conformado por depósitos aluviales pleistocénicos mayormente pedregosos y estables. En el se hallan los vértices V-8, V-9 y V-10, la S.E. Chipmo y la calicata C-2. Ver foto 9.

Tramo 10 (12860 - 15380m.)

Tramo de aprox. 2510 m. sobre laderas rocosas volcánicas estables de la formación Andahua. En ella se hallan los vértices V-11, V-12 y V-13.

Tramo 11 (15380- 17480m.)

Tramo de aprox. 2100 m. en laderas rocosas volcánicas de la formación Orcopampa que se hallan estables. En este tramo se halló los vértices V-14 y V-15.

Tramo 12 (17480 – 17880 m.)

Tramo de 400 m. aprox. con depósitos aluviales pleistocénicos conformados por bloques y otras partículas menores y muy consistentes y estables.

Tramo 13 (17880-22170 m.)

Tramo largo de aprox. 4290 m. en laderas rocosas con pendiente media conformada por rocas volcánicas de la formación Orcopampa estables. En este tramo debe ir el vértice V-16.

Tramo 14 (22170-22920m.)

Tramo de aprox. 750 m. en laderas rocosas volcánicas de tipo tufo pertenecientes a la formación Alpabamba estables.

Tramo 15 (22920 – 24320 m.)

Tramo de aprox. 1400 m. con laderas volcánicas de la formación Orcopampa mayormente lavas y estables. En este tramo debe ir el vértice V-17 en un abra de aprox. 4798 m.s.n.m. Ver fotos 11 y 14

Tramo 16 (24320 – 26270 m.)

Tramo de aprox. 1950 m. en suaves laderas se halló con depósitos morrénicos pleistocénicos conformado mayormente por grandes bloques rocosos volcánicos de tipo lava con otras partículas menores y muy consistentes y estables. En este tramo debe ir el vértice V-18. Ver foto 11.

Tramo 17 (26270-26870 m.)

Tramo de aprox. 600 m. en pequeña quebrada con suaves laderas y se halló recubiertas con depósitos fluvioglaciares pleistocénicos. Debe tenerse en cuenta que en meses lluviosos en las partes mas bajas de este tramo podría haber flujo de agua.

Tramo 18 (26870-27460m.)

Tramo de aprox. 590 m. en laderas suaves rocosas se halló con tufos de la formación Alpabamba estables.

Tramo 19 (27460 - 27760 m.)

Pequeño tramo de aprox. 300 m. en quebrada se halló con depósitos fluvioglaciares. Se hace la misma recomendación dada para el tramo 17.

Tramo 20 (27760 – 28060 m.)

Tramo de aprox. 300 m. en pequeña colina se halló con rocas volcánicas estables de tipo tufo de la formación Alpabamba.

Tramo 21 (28060-28460 m.)

Tramo de aprox. 400 m. en quebrada se halló con depósitos fluvioglaciares. Se hace la misma recomendación dada para el tramo 17. En este tramo se debe ir la calicata C-4.

Tramo 22 (28460 – 29360 m.)

Tramo de aprox. 900 m. en laderas se halló con rocas de la formación Alpabamba de tipo tufo volcánico estables.

Tramo 23 (29360- 30247 m.)

Tramo de aprox. 887 m. se halló con depósitos morrénicos pleistocénicos mayormente arenosos con partículas pequeñas rocosas. Se considera que estos depósitos provienen de la erosión de las rocas de la formación tufacea Alpabamba que aflora en las cercanías. En este tramo debe ubicarse el último vértice de la línea V-19 y en su final la S.E. Poracota y la calicata C-5. Estos depósitos se han apreciado estables.

B. Sub-Estaciones**a) S.E. Chipmo**

Se halló situada en terreno plano en la progresiva 10862 m. de la línea y a 3803 m.s.n.m. en suelos de origen aluvial del cuaternario del cuaternario pleistocénico en la margen derecha del río Chilcaimarka. El suelo está conformado por partículas pedregosas y arenosas muy consistentes y estables.

b) S.E. Poracota

Se halló ubicada en una suave falda de un cerro al final de la línea en la progresiva 30247 m. y a 4826 m.s.n.m. Superficialmente se halló recubierto por depósitos morrénicos del cuaternario pleistocénico conformado por arenas y partículas pedregosas pequeñas,

superficialmente presenta buena consistencia y laderas estables. Sin embargo en las laderas vecinas se aprecia el humedecimiento de los suelos debido al derretimiento de costras de hielo. En el rubro 4.2.2 se exponen detalles para el control de la humedad y filtración de aguas subterráneas que se detectaron en la calicata de esta sub-estación.

C. Sobre el plano y perfil geológico

Para este proyecto se ha preparado un plano geológico a la escala 1:50,000 y un perfil geológico siguiendo el trazo de la línea proyectada. Este perfil tiene como escala horizontal 1:50,000 y como escala vertical 1:25,000. Ellos se adjuntan en los anexos del proyecto.

4.4.5 Geotecnia del Proyecto

En el presente capítulo se hace una descripción abreviada de las condiciones de cimentación de los diferentes tipos de rocas y suelos por donde se halla el trazo del proyecto.

De un modo general la mayoría de las veces las rocas presentan condiciones de cimentación aceptables. Sin embargo en este informe se ha mencionado su capacidad portante estimada teniendo en cuenta como base la tabla 9.4 sobre Presuntas Cargas Unitarias Admisibles y Típicas de la obra de G.B. Sowers “Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones” y el conocimiento de las diferentes unidades rocosas por el autor.

Con relación a las condiciones de cimentación en los suelos se han efectuado estudios detallados habiéndose excavado 5 calicatas hasta 3m. de profundidad, de las principales unidades de los suelos. En cada una de ellas se ha efectuado ensayos “in situ”, muestreos, toma de fotos, estudio de laboratorio y cálculos de la capacidad portante aplicando la fórmula de Terzaghi. Para las sub-estaciones de Chipmo y Poracota se ha efectuado un análisis químico de presencia de sales

solubles. En el rubro 5.3.1 se presentan en forma general las condiciones de cimentación de la línea y sub-estaciones y en detalle los estudios de los suelos.

4.4.5.1 Estudio geotécnico local del proyecto

A) Descripción geotécnica local de la línea

La clasificación de la línea para cimentación es una simplificación de la clasificación geológica en tramos en donde básicamente se toma en cuenta la capacidad portante de suelos y rocas.

Tramo 1 (0 - 140 m.).

Roca dura volcánica se estimó con aprox. 5-15 Kg. /cm.², esta presente el vértice V-1

Tramo 2(140-570m.)

Tramo con suelos coluviales de poco espesor se le estimó 3-5 Kg. /cm.²

Tramo 3 (570-2210m.)

Tramo en roca volcánica dura se le estimó 10-15 Kg. /cm.². Contiene los vértices V-2 y V-3.

Tramo 4(2210-7060m.)

Suelo aluvial del valle Huancarama se le estimó con 5-10 Kg. /cm.². Contiene las calicatas C-2 (prog. aprox. 4210m.) y C-3 (prog. aprox. 6760m.).

Tramo 5 (7060-10760m.)

Laderas rocosas duras se le estimó con 5-15 Kg. /cm.². Contiene los vértices V-4, V-5, V-6 y V-7.

Tramo 6 (10760-12860m.)

Suelo aluvial del valle Chilcaimarca se le estimó con 5-10 Kg. /cm.².
 Contiene la S.E. Chipmo, la calicata C-3 y los vértices V-8, V-9 y V-10.

Tramo 7 (12860-17480m.)

Tramo con laderas rocosas se le estimó con 5-15 Kg. /cm.². Contiene los vértices V-11, V-12, V-13, V-14 y V-15.

Tramo 8 (17480- 17880m.)

Tramo pequeño con suelo aluvial duro se le estimó con aprox. 4 Kg. /cm.².

Tramo 9(17880-24320m.)

Laderas rocosas con capacidad portante que se le estimó entre 3-15 Kg. /cm.². Contiene a los vértices V-16 y V-17.

Tramo 10 (24320-26270m.)

Faldas con depósitos glaciares morrénicos que se le estimó con 3-5 Kg. /cm.². Contiene el vértice V-18.

Tramo 11 (26270-26870m.)

Sector de altiplano con depósitos fluvioglaciares que se le estimó con 3-5 Kg. /cm.²

Tramo 12 (26870-27460m.)

Suave ladera con rocas de dureza algo baja. Se le estimó 3-5 Kg. /cm.².

Tramo 13 (27460-28060 m.)

Sector altiplano con depósitos fluvioglaciares se le estimó con 3-5 Kg. /cm.².

Tramo 14 (27760-28060 m.)

Suaves laderas con rocas de dureza algo baja. Se le estimó 3-5 Kg. /cm².

Tramo 15 (28060-28460 m.)

Tramo altiplano con suelos fluvio-glaciares con 4.5 Kg. /cm². En este tramo se halla la calicata C-4 en la prog. aprox. 28200m.

Tramo 16 (28460-29360 m.)

Tramo en rocas de dureza algo baja. Se le estimó 3-5 Kg. /cm².

Tramo 17 (29360-30247 m.)

Último tramo en suelos glaciares morrénicos. Se le estimó 3-5 Kg. /cm². En este tramo está el vértice V-17, la S.E. Poracota y la calicata C-5 para investigar la S.E. Poracota.

B) Descripción Geotécnica local de las Sub-Estaciones

El estudio geotécnico de las sub-estaciones Chipmo y Poracota se hizo a base de información tomada de las calicatas efectuadas en dichos lugares. La descripción de cada una de las sub-estaciones se hizo de: la estratigrafía del suelo, su capacidad portante calculada, su análisis químico de sales solubles y otros detalles.

a) Sub-Estación Chipmo**Estratigrafía del suelo**

De acuerdo a la excavación (calicata C-3) hecha se tuvo la siguiente secuencia:

De 0 a 0.2m. una arena limosa SP-SM, de 0.2 a 1m. grava limosa GM, de 1 a 1.3m. arena limosa SP-SM y de 1.3 a 3.0m. grava GP-GM, no hay humedad ni agua subterránea.

Capacidad Portante

Para una cimentación de zapatas aisladas se tiene una capacidad portante de 8.9 Kg. /cm.^2 y con el factor de seguridad 2.9 Kg. /cm.^2 de capacidad permisible.

Análisis químico del suelo

El análisis de laboratorio ha dado solo 0.2444% de sales solubles que es valor bajísimo ya que es peligroso a partir del 5%.

En síntesis es un lugar con buenas condiciones geotécnicas para la sub-estación proyectada.

b) Sub-Estación Poracota

Estratigrafía del suelo.

De acuerdo con la excavación de la calicata C-5 se tiene la siguiente secuencia: de 0 a 1.3 m. grava arcillosa GC, de 1.3 a 1.7 m. grava limosa GP-GM y de 1.7 a 3.0 grava arcillosa GC. Es importante indicar de que a partir de 1.7 m. hacia abajo hay filtración de agua subterránea aunque en poca cantidad que constituye un factor negativo para el suelo. Se recomienda efectuar unas trincheras en la parte superior inmediata con el objeto de no permitir el flujo de agua subterránea al subsuelo de la sub-estación.

Capacidad Portante

De acuerdo a los cálculos hechos para una cimentación con zapata aislada cuadrada en la calicata N° 5 profundidad de 1.2 m. y ancho 1.2m. se tiene una capacidad portante de 4.2 Kg. /cm.^2 y aplicando el factor se obtienen la capacidad portante admisible dividiendo por tres a la capacidad portante:

$$Q_a = \frac{Q_c}{3}$$

$$Q_a = \frac{4.2}{3} Kg/cm^2$$

$$Q_a = 1.4 Kg/cm^2$$

Capacidad portante admisible

Análisis químico de suelo

El análisis de laboratorio de muestras de suelo de la calicata dio 0.2172% de sales solubles que es un valor bajísimo. El análisis de agua del fondo de la calicata da 177.25 p.p.m. que es equivalente a 0.0177% que es también bajísimo. En síntesis no hay riesgos químicos del suelo.

En general el lugar para la S.E. Poracota presenta buenas condiciones de cimentación con la única observación de que debe controlarse el flujo de agua subterránea hacia la parte inferior de la cimentación, el cual podría obtenerse mediante zanjas que drenen el agua subterránea externa hacia otro lugar.

C) Investigaciones de Mecánica de Suelos

Las investigaciones de mecánica de suelos hechas están orientadas básicamente a la determinación de la capacidad portante permisible. Dentro del trazo del proyecto se han elegido 5 calicatas, ellas son las siguientes:

Calicata C-1

Esta calicata es para investigar la capacidad portante del suelo para un poste de la línea de transmisión en la progresiva 4210 m. Para efectuar el cálculo de su capacidad portante permisible aplicamos la fórmula de Tergazhi para zapatas aisladas que es la siguiente:

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Se sigue el siguiente procedimiento:

PRIMERO.- Se utilizaron los datos de campo y laboratorio siguientes:

A) De campo

Df (profundidad de calicata) = 2.5 m.

B (ancho de calicata) = 1.2 m.

γ (Densidad) = 2.067 gr. /cm.³

La densidad es calculada mediante el método del cono de arena. Se dividió el peso de la tierra (extraída del agujero en el fondo de la calicata) por el volumen del agujero en cm.³. El volumen se calcula usando una arena calibrada que llena el agujero con el cono de arena.

B) De Laboratorio de Mecánica de Suelos

Con un ensayo de corte directo con muestra de suelo de la calicata C-1 se obtuvo los siguientes datos:

C (Cohesión)= 0 Kg. /cm.²

ϕ (Ángulo de fricción interna)= 37.06 grados,

De este valor angular ploteado en un gráfico de Terzaghi obtuvimos los valores adimensionales de carga

N_c = 65

$$N_q = 54$$

$$N_\gamma = 52$$

SEGUNDO.-Se unificaron valores de datos para aplicar la fórmula de Terzaghi de capacidad portante indicada

$$C = 0 \text{ Kg. /cm.}^2 = 0 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$\gamma = 2.067 \text{ gr. /cm.}^3 = 2067 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2$$

TERCERO.- Se aplicó la Formula de Terzaghi

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

$$Q_c = (1.3 \times 0 \times 65) + (2.067 \text{ gr. /cm.}^3 \times 2.5 \text{ m.} \times 54) + (0.4 \times 2.067 \text{ gr. /cm.}^3 \times 1.2 \text{ m.} \times 52)$$

$$Q_c = 0 + (279,045 \text{ Kg. /m.}^2) + (51,592 \text{ kg./m.}^2)$$

$$Q_c = 330,637 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$Q_c = \underline{33.06 \text{ Kg. /cm.}^2} \text{ Capacidad Portante}$$

Aplicando el factor de seguridad

$$Q_c/3 = Q_a = \underline{11.02 \text{ Kg. /cm.}^2} \text{ capacidad portante admisible en la calicata}$$

C-1

Calicata C-2

Esta calicata es para investigar la capacidad portante del suelo para un poste de la línea de transmisión en la progresiva 6760 m. Se aplicó la fórmula de Tergazhi igual que en la calicata C-1 para zapatas aisladas:

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Primero: Se utilizaron los datos de campo y laboratorio siguientes:

a) De campo: $D_f = 2.5 \text{ m.}$

$$B = 1.2 \text{ m.}$$

$$\gamma = 1.803 \text{ gr. /cm.}^3$$

b) De laboratorio

$$C = 0.38 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$\phi = 23.67 \text{ grados}$$

$$N_c = 22$$

$$N_q = 10.8$$

$$N_\gamma = 7.6$$

Segundo: Se unificaron valores de datos para aplicar la fórmula de Terzaghi

$$C = 0.38 \text{ Kg. /cm.}^2 = 3800 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$\gamma = 1.803 \text{ gr. /cm.}^3 = 1803 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$$

Tercero.- aplicando la fórmula obtenemos:

$$Q_c = 16.39 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ de capacidad portante}$$

Aplicando el factor de seguridad

$$Q_c / 3 = Q_a = \frac{5.46 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ capacidad portante admisible en la calicata C-}}{2}$$

Calicata C-3

Esta calicata es para investigar la capacidad portante del suelo para un poste de la línea de transmisión en la progresiva 10862 m. ubicada en la Sub-Estación Chipmo. Se aplicó la fórmula de Terzaghi para zapata aislada siguiente:

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Primero: Se utilizaron los datos de campo y laboratorio siguientes:

A) De campo: $D_f = 1.2 \text{ m.}$

$$B = 1.2 \text{ m.}$$

$$\gamma = 1.538 \text{ gr. /cm.}^3$$

B) De laboratorio

$$C = 0 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$\phi = 33.48 \text{ grados}$$

$$N_c = 49$$

$$N_q = 35$$

$$N_\gamma = 34$$

Segundo: Se unificaron valores de datos para aplicar la fórmula de Terzaghi

$$C = 0 \text{ Kg. /cm.}^2 = 0 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$\gamma = 1.538 \text{ gr. /cm.}^3 = 1538 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2$$

Tercero.- aplicando la fórmula obtenemos:

$$Q_c = 8.96 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ de capacidad portante}$$

Aplicando el factor de seguridad

$$Q_c / 3 = Q_a = 2.98 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ capacidad portante admisible en la calicata C-3}$$

Calicata C-4

Esta calicata es para investigar la capacidad portante del suelo para un poste de la línea de transmisión en la progresiva 6760 m. Se aplicó la fórmula de Terzaghi igual que en la calicata C-1 para zapatas aisladas:

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Primero: Se utilizaron los datos de campo y laboratorio siguientes:

A) De campo: $D_f = 2.5 \text{ m.}$

$$B = 1.2 \text{ m.}$$

$$\gamma = 2.045 \text{ gr. /cm.}^3$$

B) De laboratorio

$$C = 0.1 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$\phi = 30.12 \text{ grados}$$

$$N_c = 36$$

$$N_q = 24$$

$$N_\gamma = 23$$

Segundo: Se unificaron valores de datos para aplicar la fórmula de Terzaghi

$$C = 0.1 \text{ Kg. /cm.}^2 = 1000 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$\gamma = 2.045 \text{ gr. /cm.}^3 = 2045 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2$$

Tercero.- aplicando la fórmula obtenemos:

$$Q_c = 19.20 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ de capacidad portante}$$

Aplicando el factor de seguridad

$$Q_{c/3} = Q_a = 6.40 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ capacidad portante admisible en la calicata C-4}$$

Calicata C-5

Esta calicata es para investigar la capacidad portante del suelo para un poste de la línea de transmisión en la progresiva 10862 m. ubicada en la Sub-Estación Chipmo. Se aplicó la fórmula de Tergazhi para zapata aislada siguiente:

$$Q_c = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Primero: Se utilizaron los datos de campo y laboratorio siguientes:

C) De campo: $D_f = 1.2 \text{ m.}$

$$B = 1.2 \text{ m.}$$

$$\gamma = 1.894 \text{ gr. /cm.}^3$$

D) De laboratorio

$$C = 0.46 \text{ Kg. /cm.}^2$$

$$\phi = 20.17 \text{ grados}$$

$$N_c = 20$$

$$N_q = 10$$

$$N_\gamma = 8$$

Segundo: Se unificaron valores de datos para aplicar la fórmula de Terzaghi

$$C = 0.46 \text{ Kg. /cm.}^2 = 4600 \text{ Kg. /m.}^2$$

$$\gamma = 1.894 \text{ gr. /cm.}^3 = 1894 \text{ Kg. /m.}^3$$

$$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2$$

Tercero.- aplicando la fórmula obtenemos:

$$Q_c = 14.9 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ de capacidad portante}$$

Aplicando el factor de seguridad

$$Q_c / 3 = Q_a = 4.96 \text{ Kg. /cm.}^2 \text{ capacidad portante admisible en la calicata C-5}$$

Otros métodos para evaluar la capacidad portante de los suelos

La aplicación de la fórmula de Terzaghi con sus datos de campo y laboratorio es la más conocida forma de calcular la capacidad portante de los suelos. Sin embargo existen otros métodos como son el SPT (Standar Penetration Test) y el deflectómetro de impacto portátil Prima 100, FWD.

El método SPT ya se ha explicado en párrafos anteriores pero es un método aproximado limitado.

El método del deflectómetro portátil Prima 100-FWD es un método mayormente utilizado en carreteras. El suscrito ha tomado información de Internet de parte de la Compañía MASTRAD Quality and Test Systems.

Actualmente es utilizado para evaluar superficies flexibles, semirrígidas y rígidas. El instrumento de tecnología avanzada utiliza un vehículo remolque el cual es controlado por un ordenador con un sistema de transmisión sin hilos. El ordenador trabaja con un programa de software especializado del entorno Windows. La capacidad de soporte se basa en el cálculo inverso de los módulos de rigidez de la capa de la superficie Investigada a partir de los cuencos de deflexión registrados. La posición del lugar de prueba se puede determinar a través del GPS (Sistema de Localización Global) permitiendo la presentación de los datos en mapas o planos.

4.4.5.2 Estudio de Zonificación Geotécnica local del trazo del proyecto

A. Introducción

En los últimos años varios autores han adoptado la zonificación geotécnica del trazo de la línea de transmisión, que brinda una apreciación panorámica de las condiciones geotécnicas del trazo, sea en roca o suelo. Por lo general se ha considerado 5 zonas siendo las primeras las condiciones geotécnicas buenas y las 5 últimas condiciones inferiores.

Tengo dos referencias:

1. La del estudio efectuado en el año 2000 por José Luis Ramírez Castañeda: “Estudio Geológico – Geotécnico para la cimentación de Torres de Alta Tensión en el Sistema de Transmisión de 220 kV Mantaro-Socabaya: Tramo Mantaro-Rio Pampas” que fue presentado por su autor para Tesis en la UNMSM.

Ramírez Castañeda presenta su zonificación en un plano Geotécnico en donde para su estudio tiene 5 zonas: las zonas I y II en rocas y las zonas III, IV y V en suelos.

Adjuntó el plano geotécnico coloreado de 5 colores va un cuadro donde para cada zona se indica una descripción de las principales propiedades: tipo de material, resistencia, grado de fracturamiento y cobertura del suelo. Además van algunos valores como son peso unitario (T/m^3), presión máxima (kg/cm^2) y ángulo de arranque.

2. La segunda referencia es del informe técnico del año 2005 por el Ing. Cesar Augusto Atala Abad que se refiere a la línea de Transmisión 138 kV Tallabamba – Llacuabamba en la provincia de Pataz, La Libertad. El Ing. Atala presenta un plano de Zonificación Geotécnica con 5 zonas I y II en roca y III, IV y V en suelos. Las 5 zonas están con diferentes colores.

Además en un recuadro se dan numerosas propiedades para las zonas como son condiciones de cimentación, del relleno para tapar las zapatas, parámetros de suelo o roca, método de excavación, nivel freático, agresividad del suelo y condiciones sísmicas.

Ambos autores en sus planos indicaron la posición de las calicatas efectuadas.

B. Zonificación Geotécnica del Proyecto

La zonificación geotécnica del proyecto Línea de Transmisión 66 kV. S.E. Huancarama-S.E. Chipmo-S.E. Poracota que se halla situada en la zona minera de Orcopampa del departamento de Arequipa la cual se halló mayormente a más de 4000 m.s.n.m. y cerca 5000 m.s.n.m. Esta línea tiene aproximadamente 30.2 kms. Su zonificación geotécnica se ha hecho sobre el plano geotécnico y presenta 5 zonas con diferentes colores. Adjunto lleva un cuadro con las principales características: tipo de roca o suelo, dureza, grado de fracturamiento, tipo de granulometría del suelo. Estimación de algunas propiedades físicas: densidad (gr./cm^3), presión máxima (kg/cm^2) y ángulo de arranque.

C. Sobre la zonificación geotécnica del proyecto en el plano geotécnico

La zonificación geotécnica del proyecto indicado en el párrafo B se halla en el plano geotécnico que se adjunta al final de la tesis.

4.4.6 Sobre las Conclusiones y Recomendaciones de este ejemplo del modelo

Conclusiones

1. Un 60% de la longitud del trazo de la línea se halló se halla sobre superficies rocosas o con escasa cobertura de suelos. El 40% restante se halla sobre suelos. Las rocas que hay son de origen volcánico del tipo lava, brecha y tufo. Entre los suelos predomina del tipo aluvial y en menor proporción morrénico, fluvio-glacial y coluvial.
2. La línea presentó buenas condiciones geológicas y geotécnicas. Los valores de capacidad portante permisible son buenos.

3. La Sub-Estación de Chipmo presentó buenas condiciones geológicas y geotécnicas.
4. La Sub-Estación de Poracota presentó buenas condiciones para cimentación en su capacidad portante admisible, pero del punto de vista geológico la presencia de humedad y pequeña filtración de agua subterránea a partir de 1.7 a 3.0 m. dentro de la calicata excavada nos induce a recomendar se haga una labor de desvío de esta agua fuera del ámbito de la sub-estación para que no pueda perjudicar la cimentación que se halla hasta 1.2 m. de profundidad. Se considera una tarea manejable y así la sub-estación tendrá un 100% de estabilidad y buenas condiciones geológicas y geotécnicas.
5. De acuerdo a la zonificación geotécnica efectuada en el trazo de la línea de transmisión que aproximadamente tiene 30 kms. De longitud se han definido 5 zonas:
 La zona I constituida por rocas volcánicas duras ocupa 15.9 kms. Que representa el 53% del trazo.
 La zona II constituida por rocas volcánicas de dureza media conformada por tobas que ocupan 2.6 kms. Que representa el 8.6% del trazo.
 La zona III se halla constituida por suelos compactos pleistocénicos aluviales y morrénicos y ocupan 9.9 kms. que representa 33% del trazo.
 La zona IV se halla constituida por suelos fluvioglaciares que ocupan 1.3 kms. que representan el 4.3% del trazo.
 La zona V se halla constituida por suelos coluviales recientes que ocupan 0.3 kms. que representa el 1% del trazo.

Recomendaciones.

Se recomienda que en el área para la S.E. Poracota se excave una trinchera que rodee desde su costado alto hacia sus costados laterales. Esta tiene la función de captar las aguas subterráneas que filtran la parte alta donde hay costras de hielo que al derretirse filtran

el suelo morrénico que es permeable. Al no ingresar agua subterránea al subsuelo del área de la sub-estación esta tendrá una perfecta estabilidad geotécnica para la obra. En su lugar se hizo un pequeño trazo de esta trinchera.

4.4.7 Anexos de este ejemplo de modelo

La relación de anexos del proyecto “Geología y Geotecnia de la Línea de Transmisión S.E. Huancarama-S.E. Chipmo- S.E Poracota” se hallan en el anexo C al final de la tesis y ellos lo componen los siguientes:

Sub-Anexo C1: Álbum de Fotografías

Sub-Anexo C2: Perfiles de calicatas

Sub-Anexo C3: Resultados de Laboratorios

Sub-Anexo C4: Plano Geológico del trazo del proyecto

Sub-Anexo C5: Perfil Geológico del trazo del proyecto

Sub-Anexo C6: Plano Geotécnico del trazo del proyecto

CAPITULO 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA TESIS

5.1 Conclusiones

1. Un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras (postes y torres) de líneas de transmisión de energía eléctrica tiene como condición básica imprescindible que se deben realizar investigaciones geológicas y geotécnicas sin prescindir ninguna de ellas.

Las investigaciones geológicas deben contener estudios de gabinete y de campo. Las investigaciones geotécnicas cuando las condiciones son normales se harán investigaciones de gabinete, de campo y laboratorio. En situaciones especiales como la presencia de suelos difíciles deben efectuarse investigaciones adicionales.

Existen un conjunto de dificultades que impiden tener un modelo general de investigaciones geológicas y geotécnicas y las principales son:

- La variada extensión en kilómetros de longitud de los proyectos como también la variada tensión en voltaje conducida
- La variedad del relieve y altura sobre el nivel del mar que debe cruzar la línea.
- La presencia de diversos problemas geológicos como son de inestabilidad de laderas (deslizamientos, etc.) y problemas de drenaje fluvial (aluviones e inundaciones) como la presencia de fallas geológicas activas.
- La variedad del grado de riesgo sísmico.
- La variedad de terreno indicada por la zonificación geotécnica del trazo de la línea.

2. **Las principales investigaciones geológicas** de un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras deben tener las siguientes características:

Estudios de Gabinete antes de ir al campo: Interpretación geológica de fotos aéreas e imágenes de satélite.

Estudio de Riesgo Sísmico

Estudios de campo: Mapeo geológico superficial del área con problemas geológicos

Estudios de Gabinete después del campo: Preparación del plano y perfil geológico.

3. **Las principales investigaciones geotécnicas** de un modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de la línea de transmisión tiene las siguientes características:

Investigaciones de campo: para definir optima de las calicatas para estudios de mecánica de suelos: Para la evaluación de laderas con rocas es preferible aplicar el método de Bieniawski

Estudios Geotécnicos después de campo.- El estudio más importante es el cálculo de la capacidad portante de suelos y en rocas hacer una estimación. Se debe recomendar el tipo de la cimentación. En suelos difíciles se debe programar y ejecutarse estudios especiales.

5.2 Recomendaciones

1. Recomendación General.- La tesis presente está dirigida en primer lugar a los lectores profesionales y estudiantes interesados en el tema y estudiosos de las siguientes entidades
 - A) A los ingenieros del Ministerio de Energía y Minas, y Electroperu S.A. que tienen en sus manos los proyectos y obras de electrificación nacional
 - B) A las empresas e ingenieros del sector privado que tienen que ver con proyectos y obras de electrificación nacional

2. Recomendaciones de detalles.- A continuación se da un conjunto de recomendaciones de detalles
 - A) En todo proyecto de línea de transmisión deben efectuarse tanto investigaciones de Geología Aplicada como de Geotecnia en sus fases necesarias de Gabinete antes de ir al campo. Laboratorio y Gabinete después del Campo.
 - B) Un modelo de investigaciones principales en Geología Aplicada y Geotecnia para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión se indica en la conclusión nº5 de la presente tesis
 - C) En la presentación de las investigaciones geológicas y geotécnicas del estudio de líneas de transmisión debe figurar 2 planos: un plano geológico y un plano geotécnico separados
 - D) En el plano geotécnico del estudio del proyecto de la línea de transmisión debe figurar en primer lugar la zonificación geotécnica del trazo y otros datos como son la ubicación de las calcatas de las investigaciones y lógicamente el trazo del proyecto

- E) En proyectos en donde el trazo tiene que cursar zonas inaccesibles se debe emplear la interpretación geológica de imágenes: a) Para cordilleras altas fotos aéreas comunes y b) Para zonas selváticas en donde las fotos aéreas no sirven por presentar muchas nubes y además tupida vegetación de árboles se utiliza las imágenes radar SLAR que se pueden adquirir en INGEMMET, que no muestran nubes ni vegetación.
- F) En los proyectos es recomendable desarrollar la mayor parte de las investigaciones geológicas y geotécnicas del modelo general ideal, indicado en la conclusión 5 para poder definir la cimentación de las estructuras de las líneas de transmisión. Pero es necesario tener presente que se deben tratar de realizar el total de la investigaciones geotécnicas.
- G) En lo referente a estudios de riesgo sísmico, si el proyecto se halla en la región costa del Perú (en donde la sismicidad es más alta de acuerdo al Mapa de Regionalización Sísmica del Perú) es imprescindible desarrollar un buen estudio de riesgo sísmico
- H) Se recomienda efectuar investigaciones sobre la consolidación y riesgo de asentamientos de suelos en el trazo de la línea de transmisión.
- I) Si existen evidencias de suelos difíciles como ataque químico, suelos colapsables, suelos expansivos y licuación de suelos se recomienda hacer las investigaciones necesarias.
- J) Si es necesario hacer cimentaciones en taludes con suelos se recomienda hacer las investigaciones correspondientes y tomar las precauciones que es menester. Pero sería preferible no cimentar en taludes con suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFIA GEOLOGICA

1. AEROSERVICE-INGEMMET Final Interpretation Report Side Looking Airborne Radar of Central and Eastern Peruvian Andes, Houston, Texas, USA 1975
2. AEROSERVICE SAR System Technology for synthetic aperture radar surveys, Houston, Texas, USA, 1986
3. BELLIDO E. Sinopsis de la Geología del Perú. Boletín N° 22 de la Carta Geológica Nacional, INGEMMET, 1969
4. BILLINGS M. Geología Estructural. Eudeba, Argentina, 1965.
5. CALDAS J. Geología del cuadrángulo de Orcopampa, Boletín N° 46 de la Carta Geológica Nacional, INGEMMET, 1973
6. HUACO D. y CHAVEZ J. Regionalización Sísmica del Perú mediante intensidades, Instituto Geofísico del Perú, 1975.
7. INGEMMET Geología del Perú, Boletín N° 55 de la Carta Geológica Nacional, 1995
8. OLCHAUSKI E. Geología del Cuadrángulo de Catahuasi, Boletín N° 50 de la Carta Geológica Nacional, INGEMMET, 1984
9. SUYO E. Geologic interpretation of air photos and radar imagery for hydroelectric power projects in Upper Ucayali jungle region of Peru. Fifth International Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Reno, Nevada, USA, 1986

- 10.TAVERA H. Fuentes Sismogénicas y Tipos de Sismos en el Perú,
Revista Geología N° 6 del Capítulo de Ingenieros Geólogos del Colegio
de Ingenieros del Perú, 2009
- 11.USGS Aerial Photographs in Geologic Interpretation and Mapping
Geological Survey, Professional Paper 373, USGS, USA, 1960.

BIBLIOGRAFIA GEOTECNICA

1. ALVA J. Introducción y Conceptos Básicos, Seminario de Diseño y Construcción de Cimentaciones. Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Mecánica de Rocas, Lima, 1986.
2. ATALA C. Estudio de Suelos con fines de Cimentación, Línea de Transmisión 138 kV Tayabamba-Llacuabamba, Parcoy, La Libertad, 2005
3. BRAJA M. DAS Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Thomson, Méjico, 2006
4. COMITÉ PERUANO DE MECÁNICA DE SUELOS, FUNDACIONES Y MECÁNICA DE ROCAS Seminario de Diseño y Construcción de Cimentaciones, Lima, 1986
5. CUMPA A. G. Teorías de Diseño para Cimentaciones de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, Tesis para título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima, 1993.
6. DELGADO VARGAS M. Ingeniería de Cimentaciones. Alfa Omega, Colombia, 1999
7. ENRIQUEZ HARPER G. Sistemas de Transmisión y Distribución de Potencia Eléctrica. Limusa. Méjico. 2005
8. GONZALEZ DE VALLEJO L. Ingeniería Geológica, Prentice Hall, España, 2002
9. HOEK E. y BROWN E. Excavaciones subterráneas en roca. McGraw Hill, Londres, 1980.

10. MAHMOUD YAZDANI et al. Extended "Mononobe-Okabe" Method for Seismic Design of Retaining Walls. Dep. Civil and Environmental Engineering, Tarbist Modares University, Thran, Iran, 2013
11. MASTRAD Quality and Test Systems. Deflectómetro de Impacto Portátil Prima-FWD, Internet 2015
12. MICHELENA R. Exploración en Suelos. Seminario de Diseño y Construcción de Cimentaciones. Comité Peruano de Mecánica de Suelos. Lima 1986.
13. KRYNINE D.P. y JUDD W.R. Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros, Omega, España, 1975
14. MINISTERIO DE VIVIENDA Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú, 2007.
15. PECK R., HANSON W. y THORNBURN T. Ingeniería de Cimentaciones, Limusa, Méjico, 1996.
16. RAMIREZ J. Estudio Geológico Geotécnico para la Cimentación de torres de alta tensión en el Sistema de Transmisión de 220 kV. Mantaro-Socabaya, Tramo Mantaro-Rio Pampas. Tesis para título de Ingeniero Geólogo, Facultad de Geología, UNMSM, 2000
17. SOWERS G.B. y SOWERS G.F. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Limusa-Wiley, Mejico, 1972.
18. SUYO E. Geología y Geotecnia de la línea de transmisión 66 kV. S.E. Huancarama- S.E. Chipmo- S.E. Poracota, Orcopampa, Arequipa, 2005
19. TOLENTINO V. Mecánica de Rocas, Clasificaciones Geomecánicas, Unidad de Postgrado de la Facultad de Geología, UNMSM, 2005

20. UNIVERSIDAD NACIONAL LA MOLINA Laboratorios de Suelos. Ataque químico de Suelos
21. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Curso de Actualización Profesional. Mecánica de Suelos Aplicada a cimentaciones Superficiales Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima, 2000.
22. SUAREZ J. Deslizamientos, Tomo 2: Técnicas de Remediación. Universidad Industrial Santander, Colombia, 2009

BIBLIOGRAFIA METODOLOGICA

HERNANDEZ R., FERNANDEZ C. Y BAPTISTA P.
Metodología de la Investigación, Mc. Graw Hill,
México, 2003

ANEXO C:**DEL CAPITULO 5**

Geología y Geotecnia de la Línea de Transmisión 66 kV S.E. Huancarama-S.E.

Chipmo-S.E. Poracota

CONTENIDO

SUB-ANEXO C1: PANEL DE FOTOGRAFIAS

SUB-ANEXO C2: PERFILES DE 5 CALICATAS

SUB-ANEXO C3: RESULTADOS DE LABORATORIOS DE LAS 5 CALICATAS

SUB-ANEXO C4: UN PLANO GEOLOGICO DEL TRAZO DEL PROYECTO

SUB-ANEXO C5: UN PERFIL GEOLOGICO DEL TRAZO DEL PROYECTO

SUB-ANEXO C6: UN PLANO GEOTECNICO DEL TRAZO DEL PROYECTO

NOTA: Los sub-anexos C4.C5 y C6 que se refieren a planos y perfiles van al final en una bolsa

SUB - ANEXO C1:

PANEL DE FOTOGRAFIAS



Foto 1.- Tramo inicial de la línea desde la S.E. Huancarama, esta se desarrolla mayormente en las laderas rocosas volcánicas estables de las formaciones Orcopampa y Barroso.

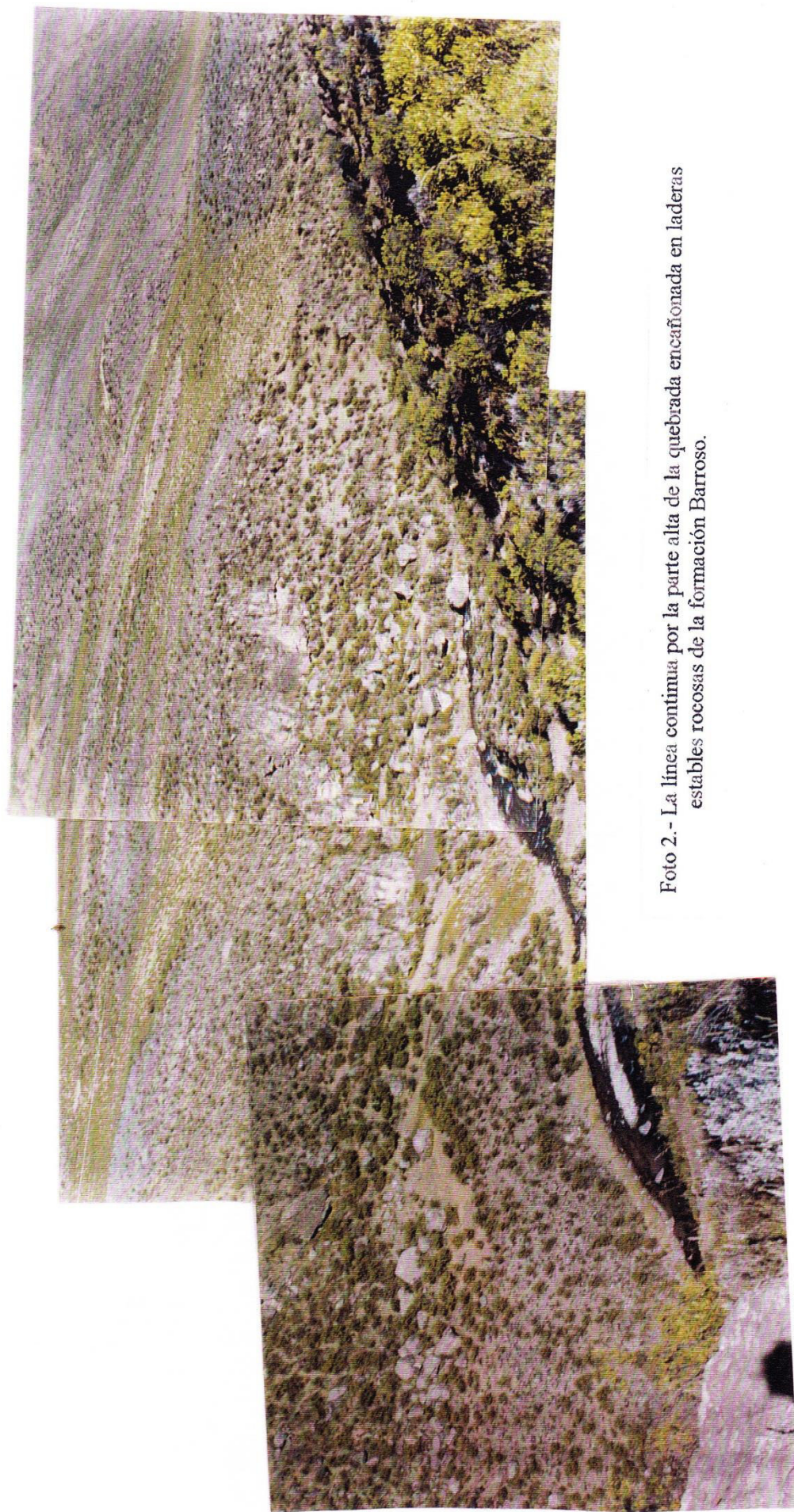


Foto 2.- La línea continua por la parte alta de la quebrada encañonada en laderas estables rocosas de la formación Barroso.



Foto 3.- Vista panorámica donde el trazo después de estar en faldas rocosas estables de la formación Barroso debe continuar por la extensa planicie con depósitos aluviales pleistocénicos estables.



Foto 4.- Vista de la planicie aluvial en la progresiva aproximada 4210 m. de la línea en donde se efectuó la calicata C-1 para la investigación del suelo.



Foto 5.- Otra vista de la planicie aluvial junto al lecho del río Huancarama cerca de la calicata C-1 en donde se aprecian abundantes cantos y gravas que conforman este suelo.



Foto 6. - Vista panorámica de la planicie aluvial desde el volcancito Mauras. En este extremo Sur-Este del depósito aluvial aproximadamente en la progresiva 6760 m, de la línea, se excavó la calicata C-2 para estudio del suelo aluvial.



Foto 7.- Vista panorámica del costado del volcancito Mauras con rocas de la formación Andahua conformada mayormente por lavas. Por este costado del volcancito debe seguir la línea hacia la S.E. Chipmo.



Foto 8.- Calicata C-3 en excavación en la S.E. Chipmo, que presenta depósitos aluviales pleistocénicos muy consistentes y estables, conteniendo abundantes cantos y bloques pedregosos.



Foto 9.- Vista panorámica desde el volcancito Mauras del trazo de la línea desde la S.E. Chipimo hacia el cerro Jullulluyoc (vértices V-11, V-12 y V-13) en sectores aluviales y rocosos estables.



Foto 10.- Vista de ruinas a distancia adecuada de la línea cerca del vértice V-11.

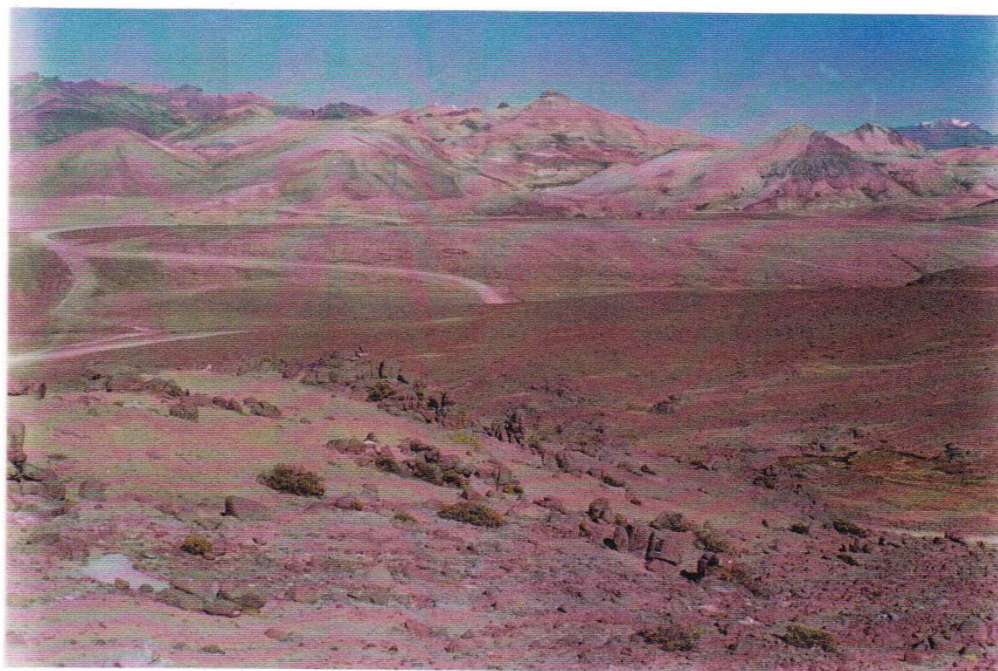


Foto 11.- Vista panorámica del vértice 17 (cota 4798 m.s.n.m) hacia los cerros donde se halla la S.E. Poracota al fondo, conformados por tufos volcánicos de color claro de la formación Alpabamba.



Foto 12.- Calicata C-4 en depósitos fluvioglaciares aproximadamente situada en la progresiva 28,200 m de la línea. El técnico de mecánica de suelos se halla haciendo un ensayo "in situ" de densidad natural.



Foto 13.- Otra vista de la calicata C-4; se aprecian estratos de suelos de diferente granulometría de los depósitos fluvioglaciares.



Foto 14. - Vista panorámica desde el cerro de la S.E. Poracota hacia el abra donde se halla el vértice V-17. Al pie del cerro de la S.E. Poracota se aprecia una trocha, la mas cercana es donde aproximadamente se ubico la calicata C-4.



Foto 15.- Inicio de los trabajos en la calicata C-5 en la S.E. Poracota sobre depósitos morrénicos pleistocénicos.

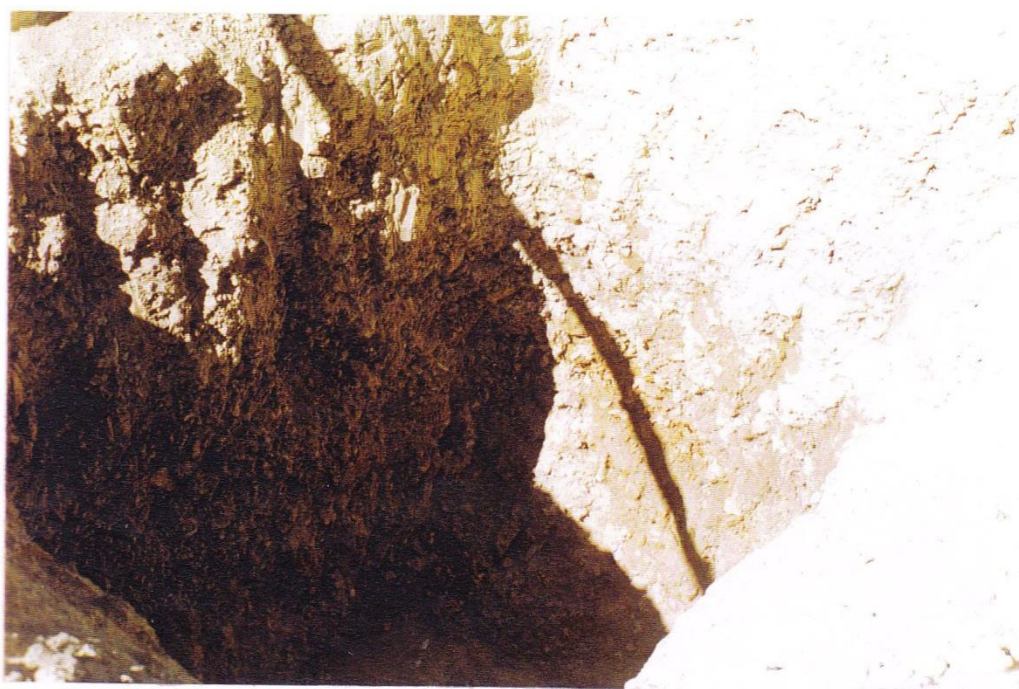


Foto 16.- Termino de la excavación de la calicata C-5 en la S.E. Poracota. En el fondo a 3 mts. se detecto presencia de agua subterránea producto del derretimiento de hielos cercanos y filtración en los depósitos morrenicos permeables.

SUB - ANEXO C2:

PERFILES DE 5 CALICATAS



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)


Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-1

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|--------------------------|---------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| SM | | 1.00 | <p>0.00m - 1.00m ARENA LIMOSA (SM)</p> <p>Arenas finas con gran a buen porcentaje de finos, color beige claro, no plástica, húmeda, medianamente densa, presencia de raíces.</p> <p>A.G.=1.36% A.M.=11.94% A.F.=50.83% A=64.13% F=35.87%</p> |
| GP-GM | | 1.30 | <p>1.00m - 1.30m GRAVA MAL GRADUADA LIMOSA (GP-GM)</p> <p>Gravas con bajo porcentaje de finos y buen a gran porcentaje de arenas, color beige claro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente densa.</p> <p>G.G.=31.27% G.F.=23.76% G=65.03% A/G=7.98% A.M.=13.33% A.F.=12.09% A=33.40% F=11.57%</p> |
| GP | | 2 | <p>Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de regular a bajo peso específico.</p> <p>1.30m - 3.00m GRAVA MAL GRADUADA (GP)</p> <p>Gravas con bajo porcentaje a trazas de finos y gran porcentaje de arenas, color beige, húmeda, medianamente densa.</p> <p>G.G.=33.80% G.F.=24.88% G=58.68% A.G.=12.13% A.M.=17.22% A.F.=10.29% A=39.64% F=1.68%</p> |
| | | 3.00 | <p>Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de bajo peso específico.</p> <p>Porcentaje de piedras, pedrones y bloques De 3" a 6" 15.0%, de 6" a 12" 10.0% y > 12" 5.0%</p> <p>Tamaño máximo 25" x 20" x 15"</p> |
| | | 4 | <p>Calicata ubicada frente al puente colgante a 80m aproximadamente.</p> |
| | | 5 | <p>EYP DE INGENIERIA S.R.L.</p> <p> CESAR VILCA GHEZZI INGENIERO CIVIL CIP. N° 6314</p> |



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)

Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-2

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| SM | | 0.20 | 0.00m - 0.20m ARENA LIMOSA (SM) Arenas medias y finas con gran porcentaje de finos y bajo porcentaje de gravas, color beige oscuro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente compacta, presencia de raíces. G.G.=5.63% G.F.=6.38% G=12.01% A.G.=6.97% A.M.=15.95% A.F.=19.46% A=42.38% F=45.61% |
| GW | | 0.40 | |
| SM | | 1.00 | 0.20m - 0.40m GRAVA BIEN GRADUADA (GW) Gravas con escaso porcentaje de finos y gran porcentaje de arenas, color beige claro, húmeda, medianamente densa. G.G.=22.04% G.F.=31.53% G=53.57% A.G.=15.34% A.M.=17.63% A.F.=10.00% A=42.97% F=3.46% 0.40m - 1.00m ARENA LIMOSA (SM) Arenas medias y finas con gran a buen porcentaje de finos y bajo porcentaje de gravas finas, color beige oscuro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente compacta. G.G.=1.49% G.F.=6.05% G=7.54% A.G.=11.74% A.M.=20.60% A.F.=24.38% A=56.72% F=35.74% |
| SC | | 3.00 | |
| EYP DE INGENIERIA S.R.L. CESAR VILCA GHEZZI INGENIERO CIVIL CIP. N° 6314 | | 4 | 1.00m - 3.00m ARENA ARCILLOSA (SC) Arenas medias y finas con gran a buen porcentaje de finos y bajo porcentaje de gravas finas, color beige ligeramente amarillento, plasticidad media, húmeda a muy húmeda, medianamente compacta. G.G.=0.53% G.F.=8.52% G=9.05% A.G.=9.62% A.M.=23.06% A.F.=22.72% A=55.40% F=35.55% Sus elementos gruesos son subangulares, de superficies rugosas, duras, sanas, de bajo peso específico. |
| | | 5 | Calicata ubicada en las faldas del cerro Carcasalla a 200m aproximadamente. |


DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)

Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-3

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| SP-SM | | 0.20 | 0.00m - 0.20m ARENA MAL GRADUADA LIMOSA (SP-SM) Arenas finas y medias con bajo porcentaje de finos y regular porcentaje de gravas, color beige claro, plasticidad ligera, húmeda, suelta a medianamente densa. G.G.=7.19% G.F.=10.75% G=17.94% A.G.=16.04% A.M.=25.46% A.F.=32.72% A=74.22% F=7.84% Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de bajo peso específico. |
| GM | | 1.00 | |
| SP-SM | | 1.30 | 0.20m - 1.00m GRAVA LIMOSA (GM) Gravas con bajo porcentaje de finos y buen porcentaje de arenas, color beige claro, no plástica, humedad ligera a húmeda, suelta a medianamente densa. G.G.=30.54% G.F.=24.66% G=55.20% A.G.=7.79% A.M.=9.61% A.F.=14.64% A=32.04% F=12.76% Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de regular peso específico. Porcentaje de piedras y pedrones De 3" a 6" 12.5% y de 6" a 12" 12.5% Tamaño máximo 17" x 11" x 6" |
| GP-GM | | 3.00 | |
| EYP DE INGENIERIA S.R.L. CESAR VILCA CHEZZI INGENIERO CIVIL CIP N° 6314 | | 3 | 1.00m - 1.30m ARENA MAL GRADUADA LIMOSA (SP-SM) Arenas medias y finas con bajo a escaso porcentaje de finos, color beige claro, no plástica, humedad ligera, medianamente densa. A.G.=3.30% A.M.=54.66% A.F.=35.77% A=93.73% F=6.27% |
| | | 4 | 1.30m - 3.00m GRAVA MAL GRADUADA LIMOSA (GP-GM) Gravas con bajo porcentaje de finos y buen a gran porcentaje de arenas medias y finas, color beige claro, no plástica, húmeda, densa. G.G.=35.55% G.F.=23.57% G=59.12% A.G.=6.98% A.M.=11.86% A.F.=14.51% A=33.35% F=7.53% Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de regular peso específico. Porcentaje de piedras, pedrones y bloques De 3" a 6" 14.5%, de 6" a 12" 8.5% y > 12" 5.0% Tamaño máximo 22" x 18" x 8" |
| | | 5 | Calicata ubicada en la Subestación Chipmo. |


DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

IANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

 Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)

Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-4

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|--------------------------|---------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| SM | | 0.30 | 0.00m - 0.30m ARENA LIMOSA (SM) Arenas medias y finas con gran porcentaje de finos y regular a bajo porcentaje de gravas finas, color beige oscuro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente compacta. G.G.=2.89% G.F.=13.48% G=16.37% A.G.=7.82% A.M.=14.71% A.F.=16.98% A=39.51% F=44.12% Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de bajo peso específico. |
| GM | | 3.00 | 0.30m - 3.00m GRAVA LIMOSA (GM) Gravas finas con regular a bajo porcentaje de finos y buen porcentaje de arenas gruesas y medias, color beige claro, plasticidad ligera, húmeda, medianamente densa a densa. G.G.=14.65% G.F.=37.65% G=52.30% A.G.=13.63% A.M.=12.08% A.F.=6.32% A=32.03% F=15.67% Sus elementos gruesos son subredondeados y subangulares, de superficies lisas y rugosas, duras, sanas, de bajo a regular peso específico. Calicata ubicada en la Quebrada Huamaní Huayta a la altura del Km. 31.5 de la Carretera hacia Poracota. |
| | | 4 | |
| | | 5 | |

EYP DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314


DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

REGISTRO DE POZO DE PRUEBA

Proyecto : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

Ubicación : Orcopampa - Región Arequipa

Cliente : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA
S.A. (CONENHUA)

Fecha : JUN.2005

Operador : S. Segura G.

Estructura : Cimentación

Excavación N° : C-5

Nivel Freático : No se encontró

| Símbolo de Clasificación | | Profundidad m | Descripción |
|--------------------------|---------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letra | Gráfico | | |
| GC | | 0.00 1.30 | 0.00m - 1.30m GRAVA ARCILLOSA (GC) Gravas con buen a regular porcentaje de finos y buen porcentaje de arenas, color beige ligeramente amarillento, plasticidad media, muy húmeda, medianamente compacta. G.G.=16.32% G.F.=24.89% G=41.21% A.G.=9.65% A.M.=12.94% A.F.=9.27% A=31.86% F=26.93% Sus elementos gruesos son subangulares, de superficies rugosas, duras, sanas, de bajo a regular peso específico. |
| GP-GM | | 1.30 1.70 | 1.30m - 1.70m GRAVA MAL GRADUADA LIMOSA (GP-GM) Gravas gruesas con bajo a escaso porcentaje de finos y bajo porcentaje de arenas, color gris oscuro, plasticidad media, muy húmeda, medianamente compacta. G.G.=55.38% G.F.=26.56% G=81.94% A.G.=4.27% A.M.=4.59% A.F.=2.92% A=11.78% F=6.28% Sus elementos gruesos son subangulares, de superficies rugosas, duras, sanas, de bajo a regular peso específico. |
| GC | | 1.70 3.00 | 1.70m - 3.00m GRAVA ARCILLOSA (GC) Gravas con gran a buen porcentaje de finos y buen a regular porcentaje de arenas, color beige ligeramente amarillento, plasticidad alta, mojada a saturada, densa, a partir de 1.70m hay filtraciones de agua. G.G.=20.43% G.F.=17.36% G=37.79% A.G.=8.49% A.M.=9.28% A.F.=8.59% A=26.36% F=35.85% Sus elementos gruesos son subangulares, de superficies rugosas, duras, sanas, de bajo a regular peso específico. |
| | | 3.00 4 5 | Calicata ubicada en la Subestación Poracota. <div style="text-align: right;"> EYP DE INGENIERIA S.R.L. CESAR VILCA GHEZZI INGENIERO CIVIL CIP. N° 6314 </div> |

SUB - ANEXO C3:

ANALISIS DE LABORATORIO

PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Profundidad m | e | n | Sr % | Cc | II % | Cr | D ₁₀ m.m. | Cu |
|----------|------------------|--------|--------|---------|--------|------------|----------|-------------------------|--------|
| Nº | De-a | | | | | | | | |
| C-1 | 1.00-1.30 | 0.6131 | 0.3801 | 36.29 | 0.1219 | (-) 257.94 | (+) 3.58 | 0.065 | 175.38 |
| | 1.30-1.80 | 0.5666 | 0.3617 | 39.55 | | | | 0.360 | 39.58 |
| | 1.80-3.00 | | | | | | | 0.360 | 39.58 |

e = Proporción de vacíos
 n = Porosidad
 Sr = Grado de saturación
 Cc = Índice de compresibilidad
 II = Índice de liquidez
 Cr = Consistencia relativa
 D₁₀ = Diámetro efectivo
 Cu = Coeficiente de uniformidad

EYP DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VELCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

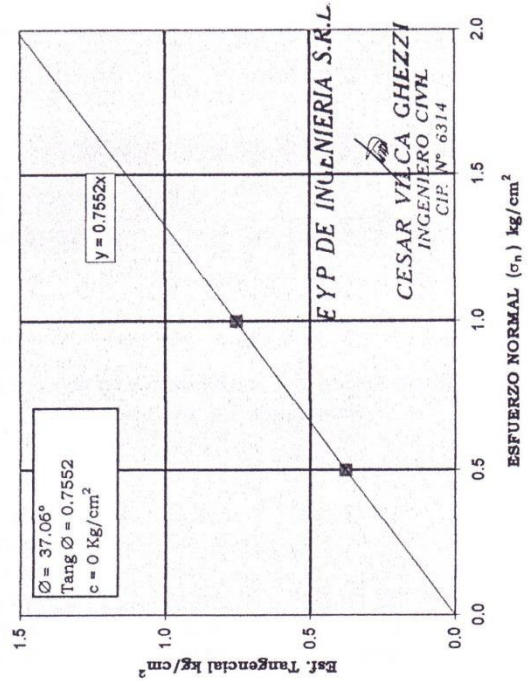
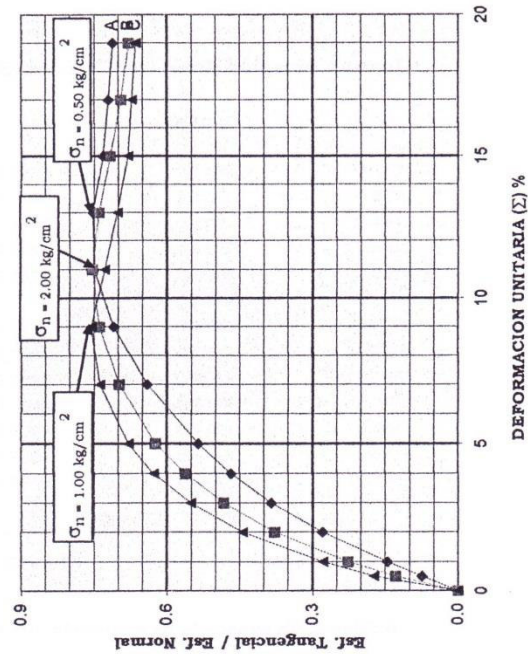
□ LIMA 17 - PERU □ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-01 1.80m-2.00m Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Especímen N° | l cm | h cm | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal Kg/cm ² |
|-----------------|---------|---------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | Inicial | Final | | |
| A | 6.10 | 2.54 | 9.09 | 20.95 | 1.693 | 0.5 |
| B | 6.10 | 2.54 | 8.36 | 20.62 | 1.701 | 1.0 |
| C | 6.10 | 2.54 | 7.75 | 20.08 | 1.715 | 2.0 |

Especímenes remoldeados a la σ_{N-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural. Método del cono de arena.



EYP DE INGENIERIA S.R.L.
CESAR VILCA GHEZZI
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 6314


DE INGENIERIA S.R.L.

 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
MUESTRA : C-01 1.80m-2.00m Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.693 | 1.701 | 1.715 |
| Humedad inicial | % | 9.09 | 8.36 | 7.75 |
| Humedad final | % | 20.95 | 20.62 | 20.08 |
| Carga | kg/cm ² | 0.5 | 1.0 | 2.0 |

Deformación Unitaria
 ϵ

%

Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal

 kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0739 | 0.1282 | 0.1734 |
| 1.0 | 0.1448 | 0.2262 | 0.2790 |
| 2.0 | 0.2798 | 0.3771 | 0.4442 |
| 3.0 | 0.3846 | 0.4826 | 0.5512 |
| 4.0 | 0.4675 | 0.5618 | 0.6274 |
| 5.0 | 0.5354 | 0.6229 | 0.6787 |
| 7.0 | 0.6410 | 0.6983 | 0.7390 |
| 9.0 | 0.7096 | 0.7390 | 0.7556 |
| 11.0 | 0.7503 | 0.7541 | 0.7285 |
| 13.0 | 0.7526 | 0.7398 | 0.7013 |
| 15.0 | 0.7322 | 0.7164 | 0.6802 |
| 17.0 | 0.7202 | 0.6938 | 0.6719 |
| 19.0 | 0.7119 | 0.6787 | 0.6644 |

Angulo de fricción Interna = 37.06 °

Cohesión = 0 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VIZA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS
ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | P.e. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-1 | 1.30-3.00 | 2.668 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM-D-1556

| Calicata Nº | Profundidad m | w % | Grava % | P.v. Grava | Húmeda Total | Densidad Natural Total | Material que pasa el tamiz Nº 4 | M.D.S. Corregida gr/cm³ | Compacción % | Máxima Corregida gr/cm³ | Mínima Corregida gr/cm³ | Densidad relativa % |
|----------------|------------------|--------|------------|---------------|-----------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| C-1 | 1.30-1.50 | 8.34 | 58.23 | 2.413 | 2.096 | 2.025 | 1.654 | | | 2.174 | 1.890 | 51.03 |
| | 1.80-2.00 | 8.40 | 59.90 | 2.413 | 2.137 | 2.067 | 1.703 | | | 2.183 | 1.907 | 61.22 |

Ensayos realizados in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VELCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. Nº 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALEZ DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461.8070 TELEFAX 461.8252

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

MÁXIMAS Y MÍNIMAS

| Calicata | Muestra | Grava | Máxima | Mínima |
|----------|-----------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Nº | m De-a | % | gr/cm ³ ASTM-D-4253 | gr/cm ³ ASTM-D-4254 |
| C-1 | 1.30-3.00 | 58.68 | 2.176 | 1.895 |

- Muestra obtenida in-situ.
- Los resultados obtenidos son promedios de un mínimo de 03 (tres) ensayos en cada caso.
- Ensayos realizados con los porcentajes de grava obtenidos en los análisis granulométricos, respectivos.
- Se utilizaron en los ensayos, moldes de 1 pie³ de capacidad.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

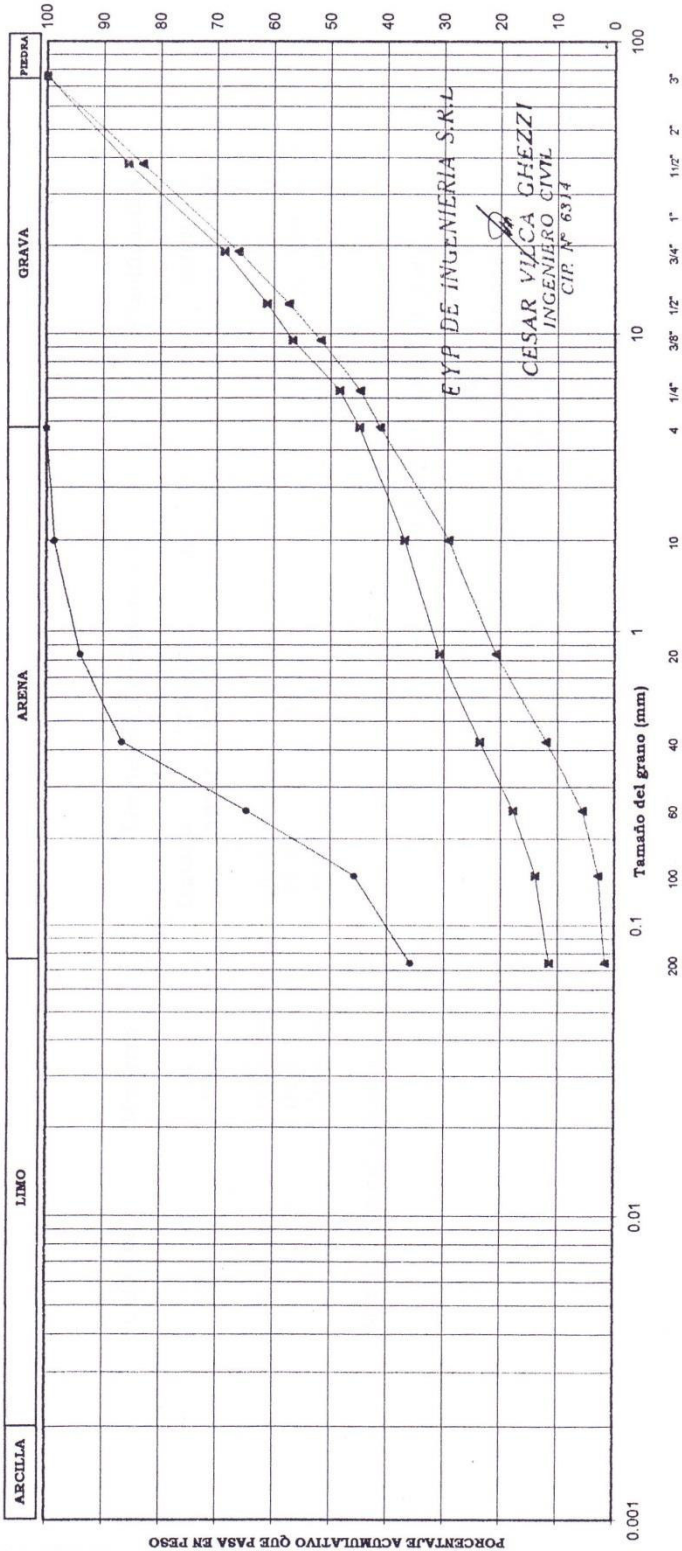


DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 D LIMA 17 - PERU ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Clasificación de suelos | Límites de Consistencia % | | | | | Muestra m | Calicata N° | Gráfico | SUCS |
|-------------------------|---------------------------|-------|----|------|--|-----------|-------------|---------|------|
| | LL | LP | LC | IP | | | | | |
| SM | 20.72 | | | N.P. | | De-a | C-1 | —●— | |
| GP-GM | 23.54 | 19.95 | | 3.59 | | 1.00-1.30 | | —x— | |
| GP | 24.28 | | | N.P. | | 1.30-3.00 | | —▲— | |
| | | | | | | | | —■— | |



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Foracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN. 2005

| Calicata Nº | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|----------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido ASTM-D-4318 | Límite Plástico | Índice de Plasticidad | |
| C-1 | 0.00-1.00 | 20.72 | | N.P. | SM |
| | 1.00-1.30 | 23.54 | 19.95 | 3.59 | GP-GM |
| | 1.30-3.00 | 24.28 | | N.P. | GP |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


 CESAR VALCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCATELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | P.v. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-1 | 1.00-1.30 | 2.455 |
| | 1.30-3.00 | 2.413 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIR. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | |
| | | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | Nº4 | Nº10 | Nº20 | Nº40 | Nº60 | Nº100 | Nº200 |
| C-1 | 0.00-1.00 | | | | | | 100.00 | 98.64 | 94.11 | 86.70 | 64.73 | 45.76 | 35.87 |
| | 1.00-1.30 | 85.65 | 68.73 | 61.29 | 56.74 | 48.47 | 44.97 | 36.99 | 30.79 | 23.66 | 17.82 | 13.94 | 11.57 |
| | 1.30-3.00 | 83.12 | 66.20 | 57.40 | 51.74 | 44.79 | 41.32 | 29.19 | 20.80 | 11.97 | 5.52 | 2.83 | 1.68 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


 CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Cerca a Huancarama
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD
 ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| Nº | m De-a | % |
| C-1 | 0.00-1.00 | 10.32 |
| | 1.00-1.30 | 10.69 |
| | 1.30-3.00 | 8.37 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
 FECHA : JUN.2005

| Calicata | Profundidad m | e | n | Sr | Cc | II | Cr | D ₁₀ m.m. | Cu |
|----------|------------------|--------|--------|-------|--------|------------|----------|-------------------------|-------|
| Nº | De-a | | | % | | % | | | |
| C-2 | 0.00-0.20 | | | | 0.1635 | (-) 513.86 | (+) 6.14 | | |
| | 0.20-0.40 | | | | | | | | |
| | 0.40-1.00 | | | | 0.1179 | (-) 341.37 | (+) 4.41 | | |
| | 1.00-1.80 | 0.5961 | 0.3735 | 46.09 | 0.2273 | (-) 99.29 | (+) 1.99 | | |
| | 1.80-3.00 | 0.5356 | 0.3488 | 55.91 | 0.2273 | (-) 92.07 | (+) 1.92 | 0.313 | 28.92 |

e = Proporción de vacíos
 n = Porosidad
 Sr = Grado de saturación
 Cc = Índice de compresibilidad
 II = Índice de liquidez
 Cr = Consistencia relativa
 D₁₀ = Diámetro efectivo
 Cu = Coeficiente de uniformidad

EYP DE INGENIERIA S.R.L


 CESAR VALCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

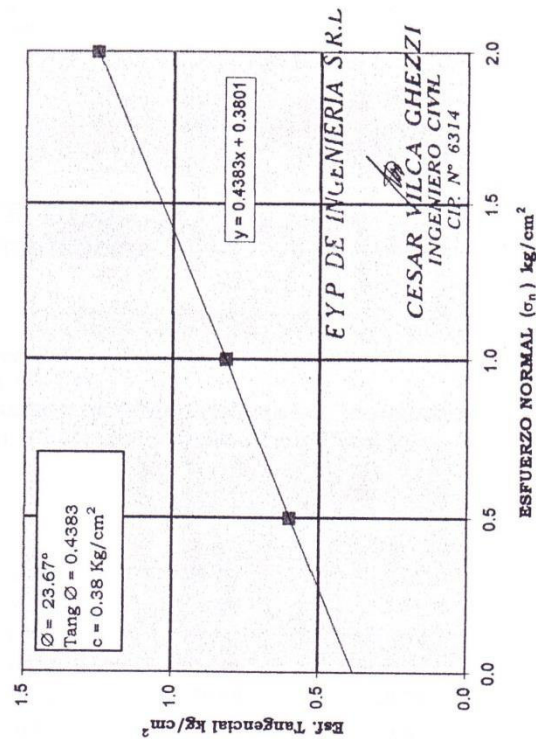
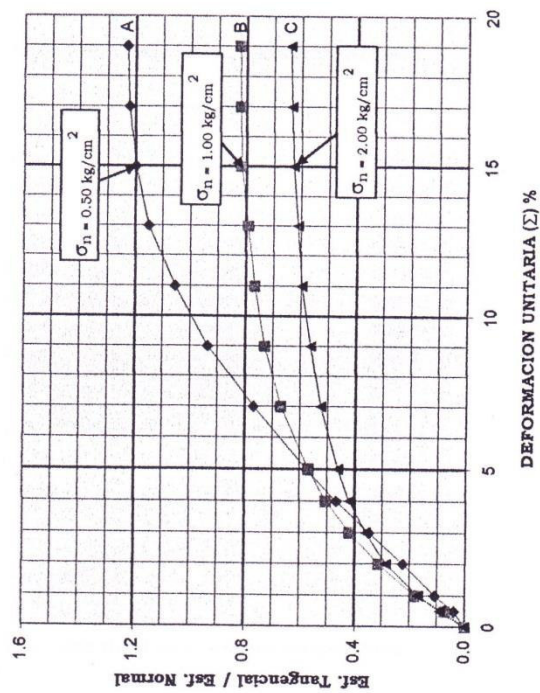
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCÁVELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-02 1.80m-2.00m Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

| Especimen N° | l cm | h cm | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | |
|--------------|---------|---------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| | | | Inicial | Final | | | |
| A | 6.10 | 2.54 | 10.32 | 19.33 | 1.760 | 0.5 | |
| B | 6.10 | 2.54 | 11.00 | 19.08 | 1.765 | 1.0 | |
| C | 6.10 | 2.54 | 11.77 | 18.70 | 1.779 | 2.0 | |

Especímenes remoldados a la δ_{N4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.




DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO

ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
MUESTRA : C-02 1.80m-2.00m Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.760 | 1.765 | 1.779 |
| Humedad inicial | % | 10.32 | 11.00 | 11.77 |
| Humedad final | % | 19.33 | 19.08 | 18.70 |
| Carga | kg/cm ² | 0.5 | 1.0 | 2.0 |

Deformación Unitaria

 ϵ

%

Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal

 kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0383 | 0.0719 | 0.0899 |
| 1.0 | 0.1079 | 0.1798 | 0.1678 |
| 2.0 | 0.2241 | 0.3116 | 0.2852 |
| 3.0 | 0.3475 | 0.4194 | 0.3607 |
| 4.0 | 0.4674 | 0.5045 | 0.4194 |
| 5.0 | 0.5752 | 0.5668 | 0.4602 |
| 7.0 | 0.7682 | 0.6687 | 0.5249 |
| 9.0 | 0.9348 | 0.7286 | 0.5632 |
| 11.0 | 1.0546 | 0.7670 | 0.5980 |
| 13.0 | 1.1493 | 0.7909 | 0.6112 |
| 15.0 | 1.1984 | 0.8183 | 0.6283 |
| 17.0 | 1.2224 | 0.8193 | 0.6352 |
| 19.0 | 1.2308 | 0.8233 | 0.6411 |

Angulo de fricción Interna = 23.67 °

Cohesión = 0.38 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

MÁXIMAS Y MÍNIMAS

| Calicata | Muestra | Grava | Máxima | Mínima |
|----------|-----------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Nº | m De-a | % | gr/cm ³ ASTM-D-4253 | gr/cm ³ ASTM-D-4254 |
| C-02 | 1.30-3.00 | 59.12 | 2.242 | 1.952 |

- Muestra obtenida in-situ.
- Los resultados obtenidos son promedios de un mínimo de 03 (tres) ensayos en cada caso.
- Ensayos realizados con los porcentajes de grava obtenidos en los análisis granulométricos, respectivos.
- Se utilizaron en los ensayos, moldes de 1 pie³ de capacidad.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
 FECHA : JUN. 2005

DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM-D-1556

| Calicata Nº | Profundidad m De-a | w % | Grava % | P.v. Grava | Densidad Natural gr/cm³ | | M.D.S. Corregida gr/cm³ | Compactación % |
|----------------|--------------------------|--------|------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------|
| | | | | | Húmeda Total | Seca Total | | |
| C-2 | 1.30-1.50 | 10.12 | 10.72 | 2.365 | 1.911 | 1.752 | 1.701 | 91.75 |
| | 1.80-2.00 | 11.03 | 8.76 | 2.363 | 1.986 | 1.803 | 1.768 | 95.36 |

Ensayos realizados in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

☐ LIMA 17 - PERU ☐ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253



DE INGENIERIA S.R.L.

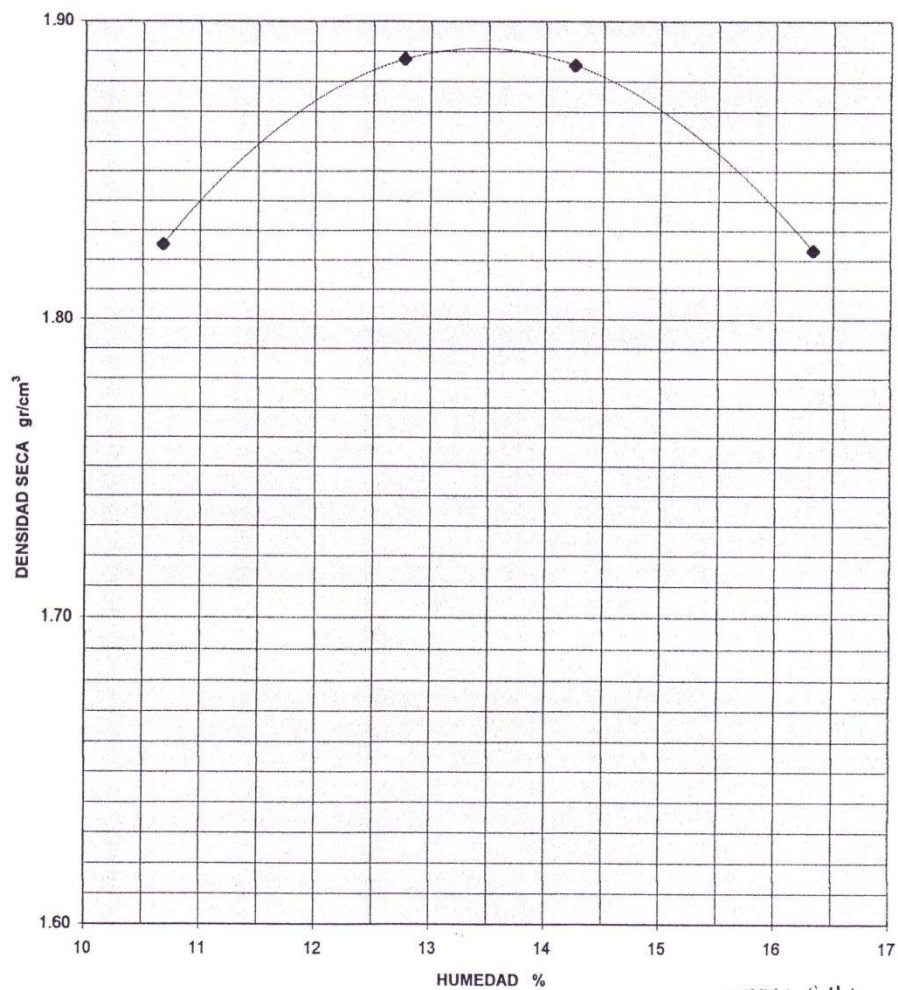
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
MUESTRA : C-2 1.00m-3.00m
FECHA : JUN.2005

PROCTOR MODIFICADO ASTM-D-1557-C

CURVA DENSIDAD - HUMEDAD



M.D.S. = 1.891 gr/cm³
O.C.H. = 13.44 %

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

Cesar Vilca Chezzi
CESAR VILCA CHEZZI
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 6814

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | P.v. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-2 | 0.00-0.20 | 2.370 |
| | 0.20-0.40 | 2.386 |
| | 0.40-1.00 | 2.372 |
| | 1.00-3.00 | 2.364 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS
ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | P.e. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-2 | 1.00-3.00 | 2.715 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253


RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
ESTRUCTURA : (CONENHUA)
FECHA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
: JUN.2005

| Calicata N° | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|----------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido ASTM-D-4318 | Índice de Plasticidad | |
| C-2 | 0.00-0.20 | 28.17 | 3.32 | SM |
| | 0.20-0.40 | 22.33 | N.P. | GW |
| | 0.40-1.00 | 23.10 | 2.49 | SM |
| | 1.00-3.00 | 35.25 | 12.61 | SC |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VIQUE GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

☐ LIMA 17 - PERU ☐ 461-8070 TEL FAX: 461-5253



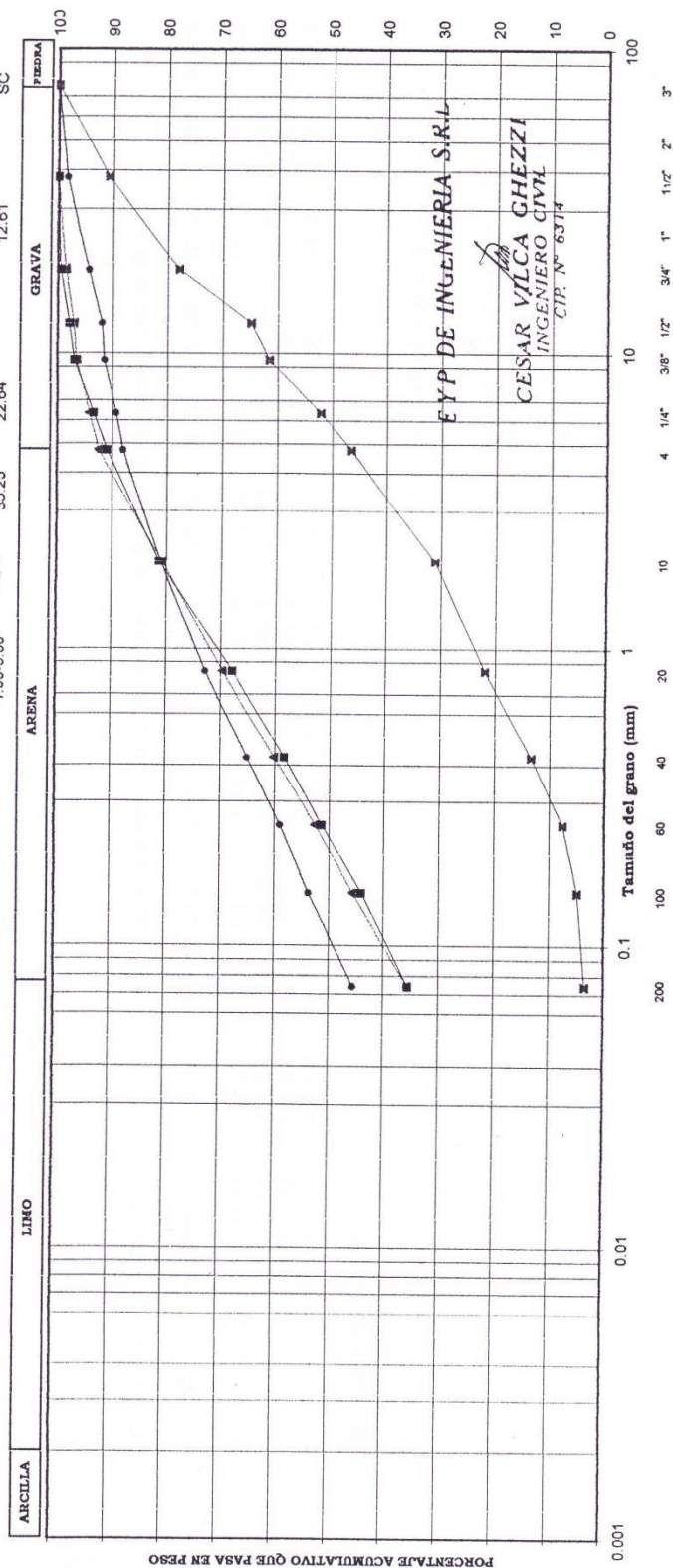
DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m | Gráfico | Límites de Consistencia % | | | | Clasificación de suelos SUCS |
|-----------|-------------------|---------|---------------------------|-------|----|-------|------------------------------------|
| | | | LL | LP | LC | IP | |
| Nº C-2 | De-a 0.00-0.20 | —▲— | 28.17 | 24.85 | | 3.32 | SM |
| | 0.20-0.40 | —■— | 22.33 | | | N.P. | GW |
| | 0.40-1.00 | —▲— | 23.10 | 20.61 | | 2.49 | SM |
| | 1.00-3.00 | —■— | 35.25 | 22.64 | | 12.61 | SC |




RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN. 2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | |
| Nº | | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | Nº4 | Nº10 | Nº20 | Nº40 | Nº60 | Nº100 | Nº200 |
| C-2 | 0.00-0.20 | 98.33 | 94.37 | 91.96 | 91.44 | 89.37 | 87.99 | 81.02 | 72.80 | 65.07 | 58.95 | 53.75 | 45.61 |
| | 0.20-0.40 | 90.82 | 77.96 | 64.86 | 61.48 | 52.18 | 46.43 | 31.09 | 21.90 | 13.46 | 7.57 | 4.87 | 3.46 |
| | 0.40-1.00 | 100.00 | 98.51 | 97.10 | 96.48 | 94.19 | 92.46 | 80.72 | 69.69 | 60.12 | 52.49 | 45.64 | 35.74 |
| | 1.00-3.00 | 100.00 | 99.47 | 97.86 | 96.93 | 93.40 | 90.95 | 81.33 | 67.89 | 58.27 | 51.36 | 44.06 | 35.55 |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


 CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIR. Nº 6314



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Frente al cerro Carcasalla
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| Nº | m De-a | % |
| C-2 | 0.00-0.20 | 7.79 |
| | 0.20-0.40 | 6.11 |
| | 0.40-1.00 | 12.11 |
| | 1.00-3.00 | 10.54 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-R079 TFI EFAY 461 E000

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| Nº | m De-a | % |
| C-3 | 0.00-0.20 | 11.06 |
| | 0.20-1.00 | 5.64 |
| | 1.00-1.30 | 6.46 |
| | 1.30-3.00 | 9.98 |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL CONTRERAS DE LA ROSA 425

□ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
 FECHA : JUN. 2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | |
| Nº | | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | Nº4 | Nº10 | Nº20 | Nº40 | Nº60 | Nº100 | Nº200 |
| C-3 | 0.00-0.20 | 100.00 | 92.81 | 88.32 | 86.91 | 83.98 | 82.06 | 66.02 | 53.02 | 40.56 | 29.87 | 20.49 | 7.84 |
| | 0.20-1.00 | 87.74 | 69.46 | 59.11 | 56.08 | 48.39 | 44.80 | 37.01 | 32.78 | 27.40 | 21.33 | 16.23 | 12.76 |
| | 1.00-1.30 | | | | | | 100.00 | 96.70 | 79.21 | 42.04 | 19.53 | 9.99 | 6.27 |
| | 1.30-3.00 | 84.64 | 64.45 | 56.48 | 51.45 | 44.28 | 40.88 | 33.90 | 28.27 | 22.04 | 14.96 | 10.20 | 7.53 |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L


 CESAR VELCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

☐ LIMA 17 - PERU
 ☐ 461-8979
 TELEFAX: 461-5253

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

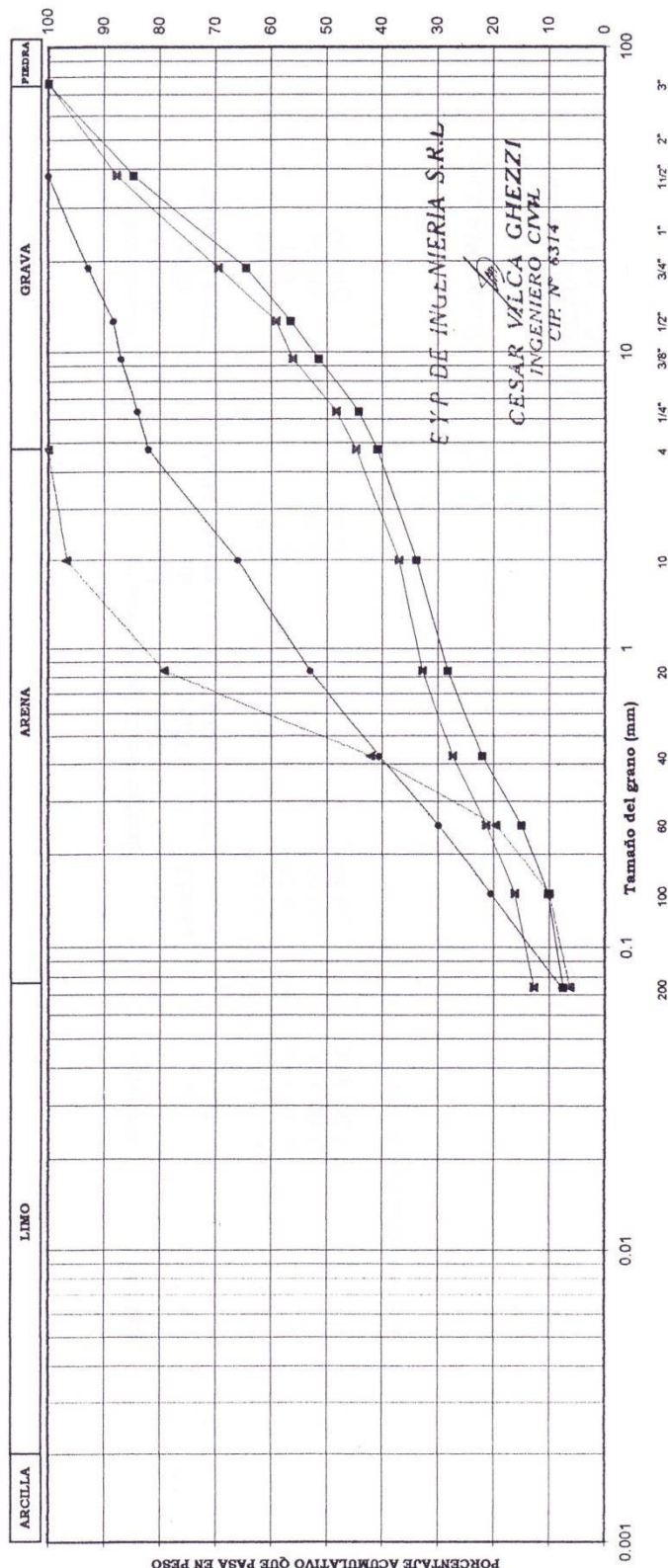
PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipimo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipimo
FECHA : JUN.2005

Límites de Consistencia %

| LL | LP | LC | IP | SUCS |
|-------|-------|----|------|-------|
| 23.54 | 19.64 | | 3.90 | SP-SM |
| 18.55 | | | N.P. | GM |
| 20.98 | | | N.P. | SP-SM |
| 20.99 | | | N.P. | GP-GM |

Calicata : N° C-3
Muestra : De-a
m : 0.00-0.20
0.20-1.00
1.00-1.30
1.30-3.00

Gráfico




RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
ESTRUCTURA : (CONENHUA)
FECHA : Cimentación-Subestación Chipmo
: JUN.2005

| Calicata Nº | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|----------------|----------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido | Límite Plástico | Índice de Plasticidad | |
| C-3 | 0.00-0.20 | 23.54 | 19.64 | 3.90 | SP-SM |
| | 0.20-1.00 | 18.55 | | N.P. | GM |
| | 1.00-1.30 | 20.98 | | N.P. | SP-SM |
| | 1.30-3.00 | 20.99 | | N.P. | GP-GM |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. Nº 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALEZ DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461-8979 TEL FAX 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | P.v. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-3 | 0.00-0.20 | 2.351 |
| | 0.20-1.00 | 2.517 |
| | 1.30-3.00 | 2.583 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS
ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | P.e. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-3 | 1.00-1.30 | 2.635 |
| | 1.30-3.00 | 2.739 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM-D-1556

| Calicata Nº | Profundidad m | w % | Grava % | P.v. Grava | Densidad Natural gr/cm³ | | M.D.S. Corregida gr/cm³ | Compactación % | Máxima Corregida gr/cm³ | Mínima Corregida gr/cm³ | Densidad relativa % |
|----------------|------------------|--------|------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | | | | | Húmeda Total | Seca Total | | | | | |
| C-3 | 1.00-1.20 | 6.27 | 0 | 2.583 | 1.634 | 1.538 | 1.538 | | 1.698 | 1.385 | 53.97 |
| | 1.80-2.00 | 9.71 | 58.91 | 2.583 | 2.253 | 2.167 | 1.761 | | 2.241 | 1.949 | 77.21 |

Ensayos realizados in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VIZCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU

□

TEL

461-8979 TELEFAX: 461-5253



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

SECTOR DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A. (CONENHUA)**
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

MÁXIMAS Y MÍNIMAS

| Calicata | Muestra | Grava | Máxima | Mínima |
|----------|-----------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| N° | m De-a | % | gr/cm ³ ASTM-D-4253 | gr/cm ³ ASTM-D-4254 |
| C-3 | 1.00-1.30 | 0 | 1.698 | 1.385 |

- Muestra obtenida in-situ.
- Los resultados obtenidos son promedios de un mínimo de 03 (tres) ensayos en cada caso.
- Ensayos realizados con material menor a la N°4.
- Se utilizaron moldes de 1/30 pie³ de capacidad.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VALCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANIFI GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ 461.8070 TELEFAX: 461.5959


DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
MUESTRA : C-03 1.00m-1.20m Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.530 | 1.537 | 1.547 |
| Humedad inicial | % | 6.72 | 6.22 | 5.87 |
| Humedad final | % | 26.66 | 26.37 | 25.79 |
| Carga | kg/cm ² | 1.0 | 2.0 | 4.0 |

Deformación Unitaria
 ϵ

%

Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal

 kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0594 | 0.0826 | 0.0892 |
| 1.0 | 0.1123 | 0.1387 | 0.1849 |
| 2.0 | 0.2047 | 0.2576 | 0.3243 |
| 3.0 | 0.2906 | 0.3480 | 0.4194 |
| 4.0 | 0.3639 | 0.4260 | 0.4953 |
| 5.0 | 0.4299 | 0.4854 | 0.5554 |
| 7.0 | 0.5316 | 0.5818 | 0.6320 |
| 9.0 | 0.6043 | 0.6346 | 0.6617 |
| 11.0 | 0.6432 | 0.6604 | 0.6346 |
| 13.0 | 0.6591 | 0.6353 | 0.6076 |
| 15.0 | 0.6459 | 0.6208 | 0.5891 |
| 17.0 | 0.6353 | 0.6089 | 0.5811 |
| 19.0 | 0.6287 | 0.6076 | 0.5805 |

Angulo de fricción Interna = 33.48 °

Cohesión = 0 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

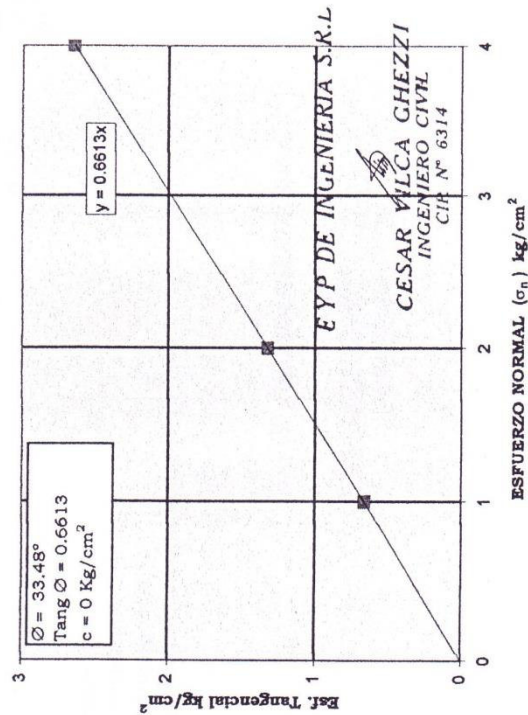
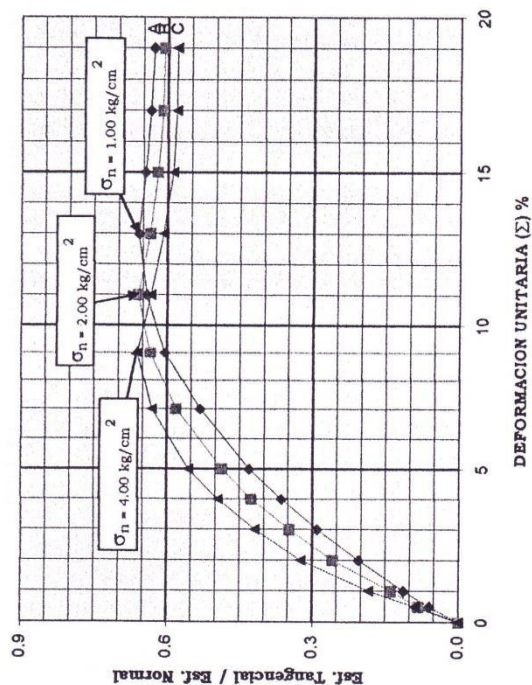

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 6314

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-03 1.00m-1.20m Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

| Especimen | N° | h | | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal Kg/cm ² |
|-----------|------|------|------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | cm | cm | Inicial | Final | | |
| A | 6.10 | 2.54 | 2.54 | 6.72 | 26.66 | 1.530 | 1.0 |
| B | 6.10 | 2.54 | 2.54 | 6.22 | 26.37 | 1.537 | 2.0 |
| C | 6.10 | 2.54 | 2.54 | 5.87 | 25.79 | 1.547 | 4.0 |

Especímenes remoldados a la δ_{r4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural. Método del cono de arena.



PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Profundidad m | e | n | Sr % | Cc | II % | Cr | D ₁₀ m.m. | Cu |
|-----------------|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------|--------|------------------------|----|-------------------------|-------------------------|
| Nº | De-a | | | | | | | | |
| C-3 | 0.00-0.20 1.00-1.30 1.30-3.00 | 0.7133 0.6401 | 0.4163 0.3903 | 23.16 41.55 | 0.1219 | (-) 220.00 (+) 3.20 | | 0.083 0.150 0.125 | 16.14 3.95 120.00 |
| e | = Proporción de vacíos | | | | | | | | |
| n | = Porosidad | | | | | | | | |
| Sr | = Grado de saturación | | | | | | | | |
| Cc | = Índice de compresibilidad | | | | | | | | |
| II | = Índice de liquidez | | | | | | | | |
| Cr | = Consistencia relativa | | | | | | | | |
| D ₁₀ | = Diámetro efectivo | | | | | | | | |
| Cu | = Coeficiente de uniformidad | | | | | | | | |

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU

□ T

461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Chipmo
FECHA : JUN.2005

SALES SOLUBLES TOTALES
ASTM-D-1889

| Calicata | Muestra | S.S.T. |
|----------|-----------|--------|
| Nº | m De-a | % |
| C-3 | 1.30-3.00 | 0.2444 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
ESTRUCTURA : (CONENHUA)
FECHA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
: JUN. 2005

| Calicata | Profundidad m De-a | e | n | Sr % | Cc | Il % | Cr |
|----------|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Nº | | | | | | | |
| C-4 | 0.00-0.30 0.30-1.65 1.65-3.00 | 0.7040 0.6576 | 0.4131 0.3967 | 36.28 47.34 | 0.1202 0.0763 0.0763 | (-) 368.28 (-) 241.22 (-) 161.45 | (+) 4.68 (+) 3.41 (+) 2.61 |
| e | = Índice de compresibilidad | | | | | | |
| n | = Índice de liquidez | | | | | | |
| Sr | = Consistencia relativa | | | | | | |

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALEZ DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | P.e. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-4 | 0.30-3.00 | 2.677 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM-D-1556

| Calicata Nº | Profundidad m | w % | Grava % | P.v. Grava | Densidad Natural gr/cm ³ | | M.D.S. Corregida gr/cm ³ | Compacción % | Máxima Corregida gr/cm ³ | Mínima Corregida gr/cm ³ | Densidad relativa % |
|----------------|------------------|--------|------------|---------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|
| | | | | | Húmeda Total | Seca Total | | | | | |
| C-4 | 1.30-1.50 | 9.54 | 52.36 | 2.443 | 2.020 | 1.932 | 1.571 | | 2.121 | 1.824 | 39.92 |
| | 1.80-2.00 | 11.63 | 56.08 | 2.443 | 2.150 | 2.045 | 1.693 | | 2.143 | 1.861 | 68.38 |

Ensayos realizados in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 ☐ LIMA 17 - PERU ☐ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

MÁXIMAS Y MÍNIMAS

| Calicata | Muestra m | Grava | Máxima gr/cm ³ | Mínima gr/cm ³ |
|----------|--------------|-------|------------------------------|------------------------------|
| Nº | De-a | % | ASTM-D-4253 | ASTM-D-4254 |
| C-4 | 0.30-3.00 | 52.30 | 2.120 | 1.824 |

- Muestra obtenida in-situ.
- Los resultados obtenidos son promedios de un mínimo de 03 (tres) ensayos en cada caso.
- Ensayos realizados con los porcentajes de grava obtenidos en los análisis granulométricos, respectivos.
- Se utilizaron en los ensayos, moldes de 1 pie³ de capacidad.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253



EYP DE INGENIERIA S.R.L.

ESTUDIOS Y PROYECTOS LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A. (CONENHUA)**
MUESTRA : C-04 1.80m-2.00m Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.686 | 1.693 | 1.700 |
| Humedad inicial | % | 12.23 | 11.58 | 11.08 |
| Humedad final | % | 21.23 | 20.98 | 20.55 |
| Carga | kg/cm ² | 0.5 | 1.0 | 2.0 |

Deformación Unitaria

ϵ

%

Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal

kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0390 | 0.0819 | 0.1209 |
| 1.0 | 0.1014 | 0.1638 | 0.1990 |
| 2.0 | 0.2107 | 0.2887 | 0.2965 |
| 3.0 | 0.3175 | 0.3893 | 0.3667 |
| 4.0 | 0.4057 | 0.4564 | 0.4252 |
| 5.0 | 0.4837 | 0.5087 | 0.4681 |
| 7.0 | 0.6109 | 0.5820 | 0.5383 |
| 9.0 | 0.7022 | 0.6335 | 0.5820 |
| 11.0 | 0.7537 | 0.6600 | 0.6086 |
| 13.0 | 0.7802 | 0.6801 | 0.6301 |
| 15.0 | 0.7739 | 0.6788 | 0.6301 |
| 17.0 | 0.7591 | 0.6709 | 0.6242 |
| 19.0 | 0.7373 | 0.6561 | 0.6086 |

Angulo de fricción Interna = 30.12 °

Cohesión = 0.10 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA CHEZZI
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 6314



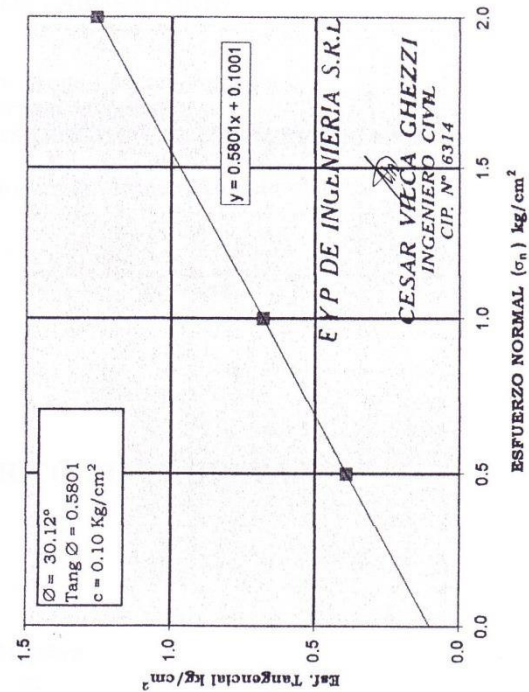
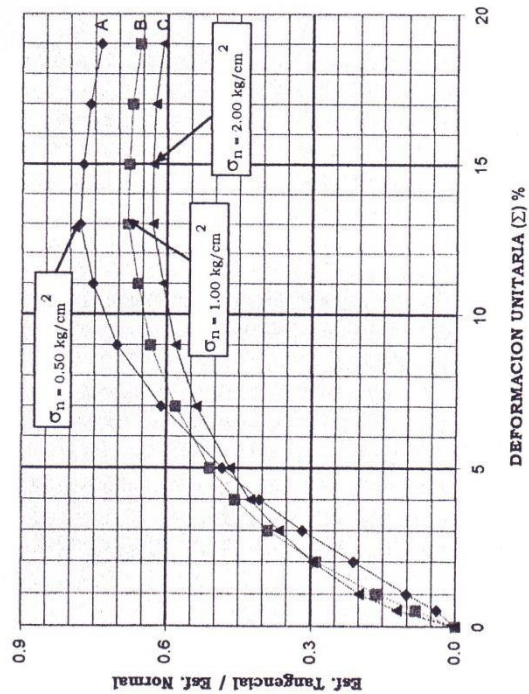
DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-04 1.80m-2.00m Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

| Especimen N° | l cm | h cm | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal Kg/cm ² |
|-----------------|---------|---------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | Inicial | Final | | |
| A | 6.10 | 2.54 | 12.23 | 21.23 | 1.686 | 0.5 |
| B | 6.10 | 2.54 | 11.58 | 20.98 | 1.693 | 1.0 |
| C | 6.10 | 2.54 | 11.08 | 20.55 | 1.700 | 2.0 |

Especímenes remoldados a la δ_{N4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural. Método del cono de arena.



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | P.v. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-4 | 0.00-0.30 | 2.370 |
| | 0.30-3.00 | 2.443 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota

UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa

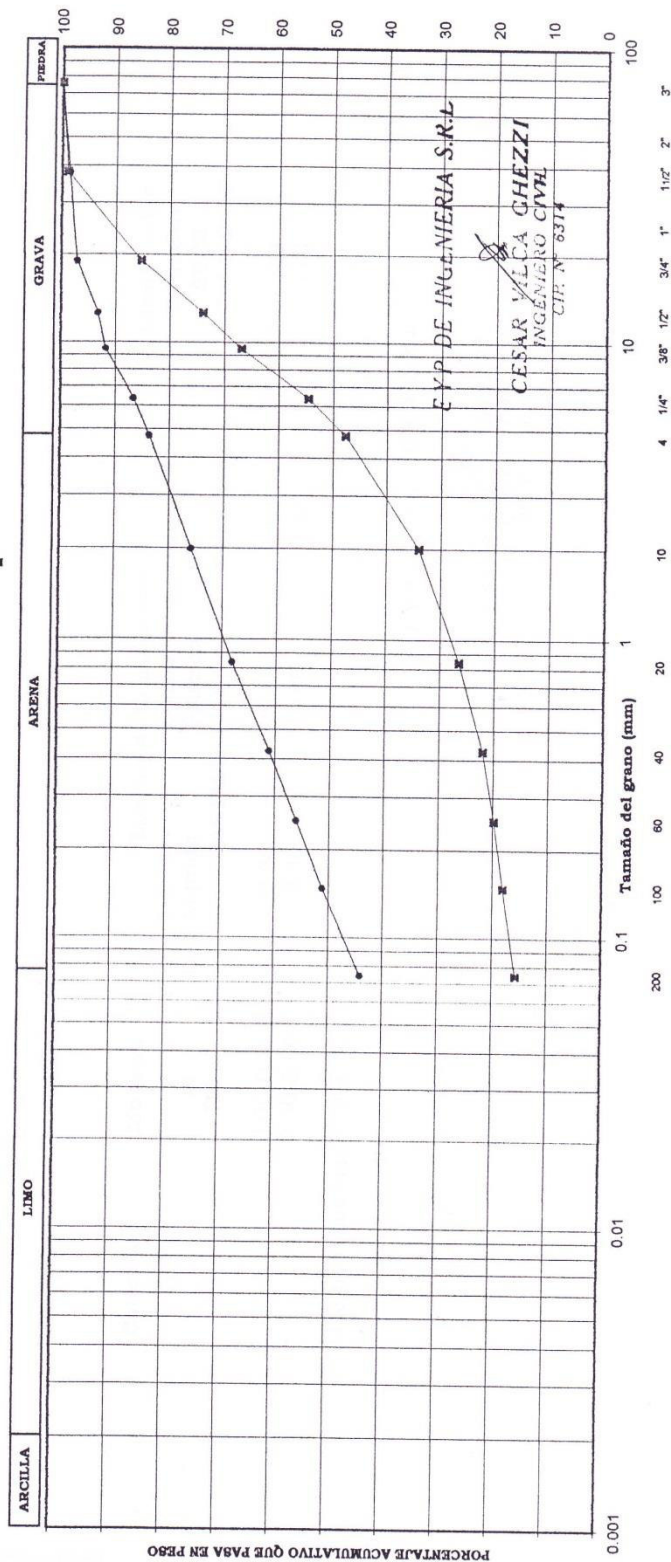
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE

HUANCAVELICA S.A.

ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta

FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m | Gráfico | Límites de Consistencia % | | | | Clasificación de suelos |
|----------|--------------|---------|---------------------------|-------|----|------|----------------------------|
| C-4 | De-a | | LL | LP | LC | IP | SUCS SM GM |
| | 0.00-0.30 | | 23.36 | 20.68 | | 2.68 | |
| | 0.30-3.00 | | 18.48 | 15.66 | | 2.62 | |



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN. 2005

| Calicata | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|----------|----------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido ASTM-D-4318 | Límite Plástico | Índice de Plasticidad | |
| C-4 | 0.00-0.30 | 23.36 | 20.68 | 2.68 | SM |
| | 0.30-3.00 | 18.48 | 15.86 | 2.62 | GM |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


 CESAR VILCA CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 LIMA 17 - PERU ☐ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | | |
| | | N° | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | N°4 | N°10 | N°20 | N°40 | N°60 | N°100 | N°200 |
| C-4 | 0.00-0.30 | | 98.53 | 97.11 | 93.22 | 91.74 | 86.66 | 83.63 | 75.81 | 68.06 | 61.10 | 55.97 | 51.13 | 44.12 |
| | 0.30-3.00 | | 98.91 | 85.35 | 73.89 | 66.83 | 54.60 | 47.70 | 34.07 | 26.48 | 21.99 | 19.77 | 18.08 | 15.67 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VELAZCO GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Quebrada Huamani Huayta
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| Nº | m De-a | % |
| C-4 | 0.00-0.30 | 10.81 |
| | 0.30-3.00 | 10.60 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CÉSAR VELAZCO CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 C.R. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
 FECHA : JUN.2005

| Calicata Nº | Muestra m De-a | Límites de Consistencia % | | Índice de Plasticidad | Clasificación de suelos SUCS ASTM-D-2487 |
|----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | | Límite Líquido ASTM-D-4318 | Límite de Contracción ASTM-D-427 | | |
| C-5 | 0.00-1.30 | 37.14 | 20.14 | 17.00 | GC |
| | 1.30-1.70 | 34.60 | 20.53 | 14.07 | GP-GC |
| | 1.70-3.00 | 45.16 | 22.38 | 22.78 | GC |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. Nº 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

☐ LIMA 17 - PERU
 ☐ T 461-8979
 TELEFAX: 461-5253

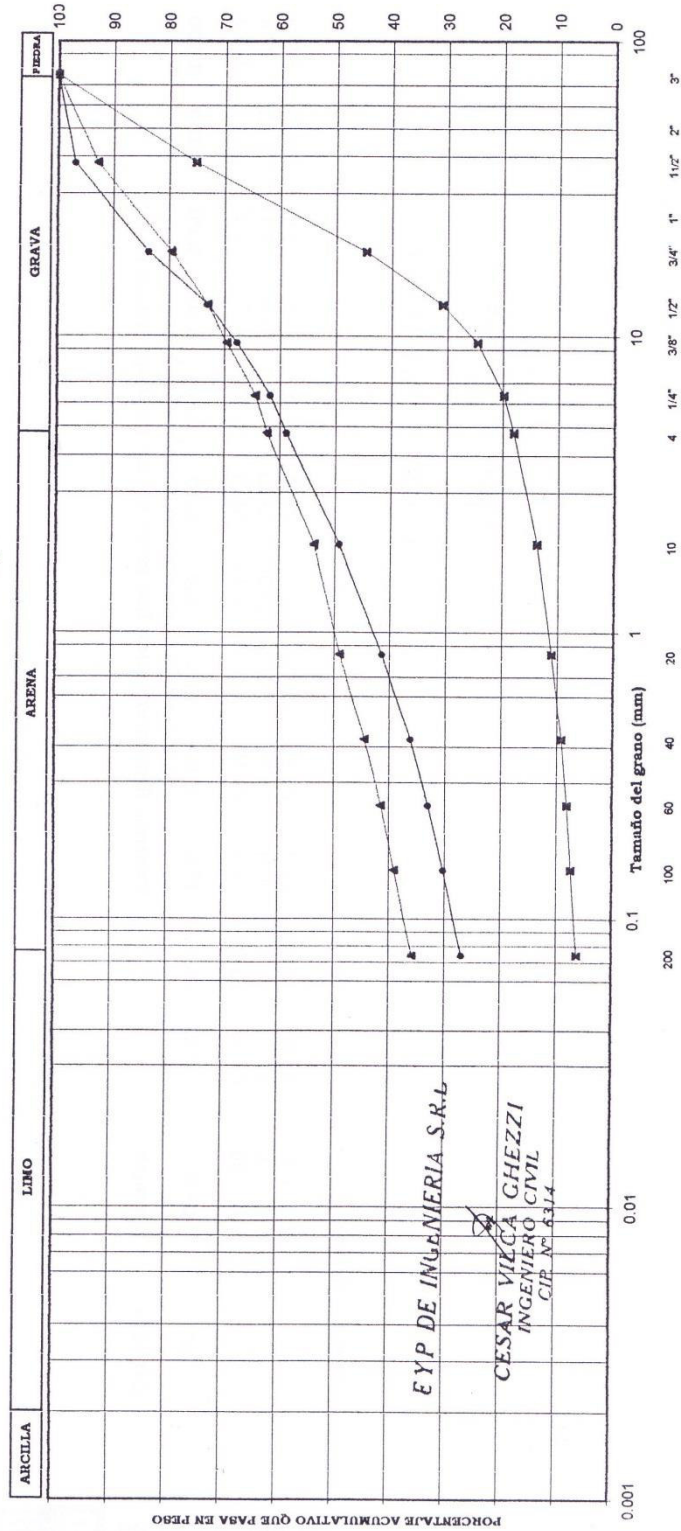


DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

| Clasificación de suelos | Límites de Consistencia % | | | | | Muestra m | Calicata Nº | Gráfico | SUCS |
|-------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|--|-----------|-------------|---------|-------|
| | LL | LP | LC | IP | | | | | |
| GC | 37.14 | 20.14 | | 17.00 | | 0.00-1.30 | C-5 | —▲— | GC |
| GP-GC | 34.60 | 20.53 | | 14.07 | | 1.30-1.70 | | —■— | GP-GC |
| GC | 45.16 | 22.38 | 15.41 | 22.78 | | 1.70-3.00 | | —▲— | GC |
| | | | | | | | | —■— | |



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

| Calicata | Muestra m De-a | Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422 | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Porcentaje acumulativo que pasa en peso | | | | | | | | | | | |
| N° | | 1 1/2" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | 1/4" | N°4 | N°10 | N°20 | N°40 | N°60 | N°100 | N°200 |
| C-5 | 0.00-1.30 | 96.93 | 83.68 | 73.05 | 67.75 | 61.72 | 58.79 | 49.14 | 41.43 | 36.20 | 33.03 | 30.35 | 26.93 |
| | 1.30-1.70 | 75.27 | 44.62 | 30.95 | 24.65 | 19.88 | 18.06 | 13.79 | 11.10 | 9.20 | 8.11 | 7.37 | 6.28 |
| | 1.70-3.00 | 92.86 | 79.57 | 73.01 | 69.53 | 64.36 | 62.21 | 53.72 | 48.92 | 44.44 | 41.44 | 39.09 | 35.85 |

Muestras obtenidas in-situ.

E Y P DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU □ T

461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCATELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM-D-2216

| Calicata | Profundidad | w |
|----------|-------------|-------|
| Nº | m De-a | % |
| C-5 | 0.00-1.30 | 12.90 |
| | 1.30-1.70 | 17.22 |
| | 1.70-3.00 | 18.93 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALEZ DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461-8979 TEL FAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS
ASTM-D-854

| Calicata | Muestra | P.e. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-5 | 0.00-1.30 | 2.703 |
| | 1.70-3.00 | 2.691 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIR. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
 UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
 CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
 (CONENHUA)
 ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
 FECHA : JUN.2005

DENSIDAD NATURAL - MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM-D-1556

| Calicata Nº | Profundidad m De-a | w % | Grava % | P.v. Grava | Densidad Natural gr/cm ³ | | Material que pasa el tamiz Nº 4 | M.D.S. Corregida gr/cm ³ | Compactación % |
|----------------|--------------------------|--------|------------|---------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| | | | | | Húmeda Total | Seca Total | | | |
| C-5 | 1.00-1.20 | 13.06 | 41.60 | 2.440 | 2.038 | 1.894 | 1.634 | 2.035 | 93.07 |
| | 1.80-2.00 | 18.96 | 32.41 | 2.445 | 2.200 | 1.950 | 1.694 | 1.980 | 98.48 |

Ensayos realizados in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L

CESAR VILCA CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CH. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU

□

461-8979 TELEFAX: 461-5253


DE INGENIERIA S.R.L.
ESTUDIOS Y PROYECTOS LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461 8979 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. {CONENHUA}**
MUESTRA : C-05 1.00m-1.20m Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

| Especimen | | A | B | C |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Lado | cm | 6.10 | 6.10 | 6.10 |
| Altura | cm | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 1.627 | 1.633 | 1.642 |
| Humedad inicial | % | 12.76 | 13.00 | 13.42 |
| Humedad final | % | 23.71 | 23.48 | 22.98 |
| Carga | kg/cm ² | 1.0 | 2.0 | 4.0 |

Deformación Unitaria
 ϵ
 %


Esfuerzo Tangencial/Esfuerzo Normal
 kg/cm²

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 0.5 | 0.0372 | 0.0579 | 0.0951 |
| 1.0 | 0.0976 | 0.1406 | 0.1737 |
| 2.0 | 0.1903 | 0.2730 | 0.2532 |
| 3.0 | 0.2821 | 0.3557 | 0.3020 |
| 4.0 | 0.3723 | 0.4153 | 0.3408 |
| 5.0 | 0.4467 | 0.4592 | 0.3657 |
| 7.0 | 0.5791 | 0.5212 | 0.4120 |
| 9.0 | 0.6784 | 0.5477 | 0.4385 |
| 11.0 | 0.7454 | 0.5750 | 0.4616 |
| 13.0 | 0.7942 | 0.5874 | 0.4716 |
| 15.0 | 0.8273 | 0.5973 | 0.4823 |
| 17.0 | 0.8438 | 0.6039 | 0.4881 |
| 19.0 | 0.8563 | 0.6097 | 0.4922 |

Angulo de fricción Interna = 20.17 °
Cohesión = 0.46 Kg/cm²

Especímenes remoldeados a la δ_{N-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural-Método del cono de arena.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 C.R. N° 6314



EYP DE INGENIERIA S.R.L.

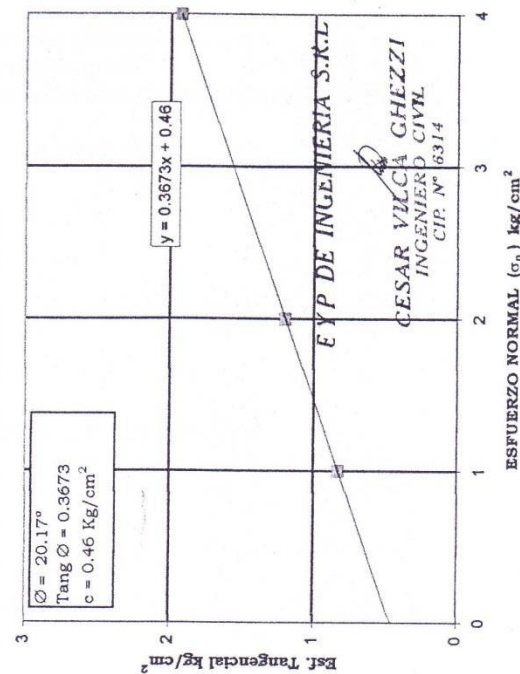
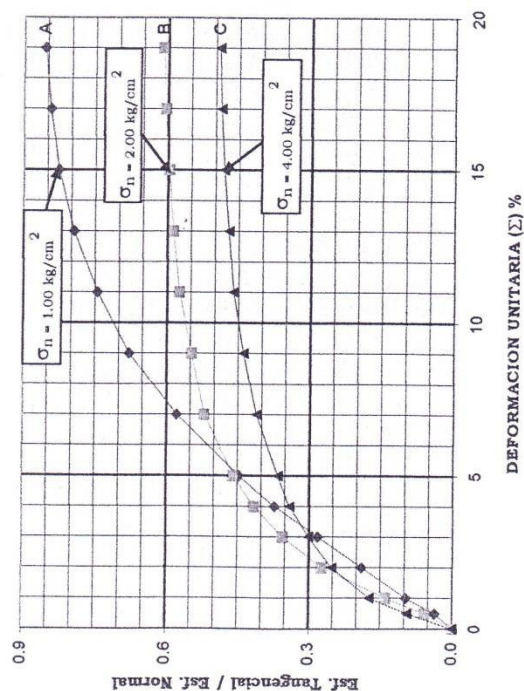
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ T 461 8978 TELEFAX: 461 5253

CORTE DIRECTO ASTM-D-3080

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A. (CONENHUA)
MUESTRA : C-05 1.00m-1.20m Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

| Especimen N° | l cm | h cm | % Humedad | | Densidad Seca gr/cm ³ | Esfuerzo Normal Kg/cm ² |
|-----------------|---------|---------|-----------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | Inicial | Final | | |
| A | 6.10 | 2.54 | 12.76 | 23.71 | 1.627 | 1.0 |
| B | 6.10 | 2.54 | 13.00 | 23.48 | 1.633 | 2.0 |
| C | 6.10 | 2.54 | 13.42 | 22.98 | 1.642 | 4.0 |

Especímenes remoldados a la δ_{p-4} y a la w , obtenidos en el ensayo de densidad natural. Método del cono de arena.



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCATELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA

| Calicata | Muestra | P.v. |
|----------|-----------|-------|
| Nº | m De-a | |
| C-5 | 0.00-1.30 | 2.440 |
| | 1.30-1.70 | 2.432 |
| | 1.70-3.00 | 2.445 |

Muestras obtenidas in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


 CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIR. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 431-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
 Filtraciones de agua a partir de 1.70m
FECHA : JUN.2005

SALES SOLUBLES TOTALES
 ASTM-D-1889

| Calicata | Muestra | S.S.T. |
|----------|-------------------|--------|
| Nº | m | p.p.m. |
| C-5 | A partir de 1.70m | 177.25 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VELAZQUEZ CHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIR. Nº 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

PARÁMETROS FÍSICOS DEDUCIDOS

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCARELICA S.A.
ESTRUCTURA : (CONENHUA)
FECHA : Cimentación-Subestación Poracota
: JUN.2005

| Calicata | Profundidad m | e | n | Sr | Cc | II | Cr | D ₁₀ m.m. | Cu |
|-----------------|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------|
| Nº | De-a | | | % | | % | | | |
| C-5 | 0.00-1.30 1.30-1.70 1.70-3.00 | 0.6542 0.5885 | 0.3955 0.3705 | 53.96 86.70 | 0.2443 0.2214 0.3164 | (-) 41.65 (-) 23.53 (-) 15.01 | (+) 1.42 (+) 1.24 (+) 1.15 | 0.520 | 51.35 |
| e | = Proporción de vacíos | | | | | | | | |
| n | = Porosidad | | | | | | | | |
| Sr | = Grado de saturación | | | | | | | | |
| Cc | = Índice de compresibilidad | | | | | | | | |
| II | = Índice de liquidez | | | | | | | | |
| Cr | = Consistencia relativa | | | | | | | | |
| D ₁₀ | = Diámetro efectivo | | | | | | | | |
| Cu | = Coeficiente de uniformidad | | | | | | | | |

EYP DE INGENIERIA S.R.L


CESAR VELAZCO CHIEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 ☐ LIMA 17 - PERU ☐ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO


PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A.**
(CONENHUA)
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
FECHA : JUN.2005

SALES SOLUBLES TOTALES
 ASTM-D-1889

| Calicata | Muestra | S.S.T. |
|----------|-----------|--------|
| Nº | m De-a | % |
| C-5 | 1.70-3.00 | 0.2172 |

Muestra obtenida in-situ.

EYP DE INGENIERIA S.R.L.


 CESAR VILCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 8314



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 ☐ LIMA 17 - PERU ☐ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253



DE INGENIERIA S.R.L.

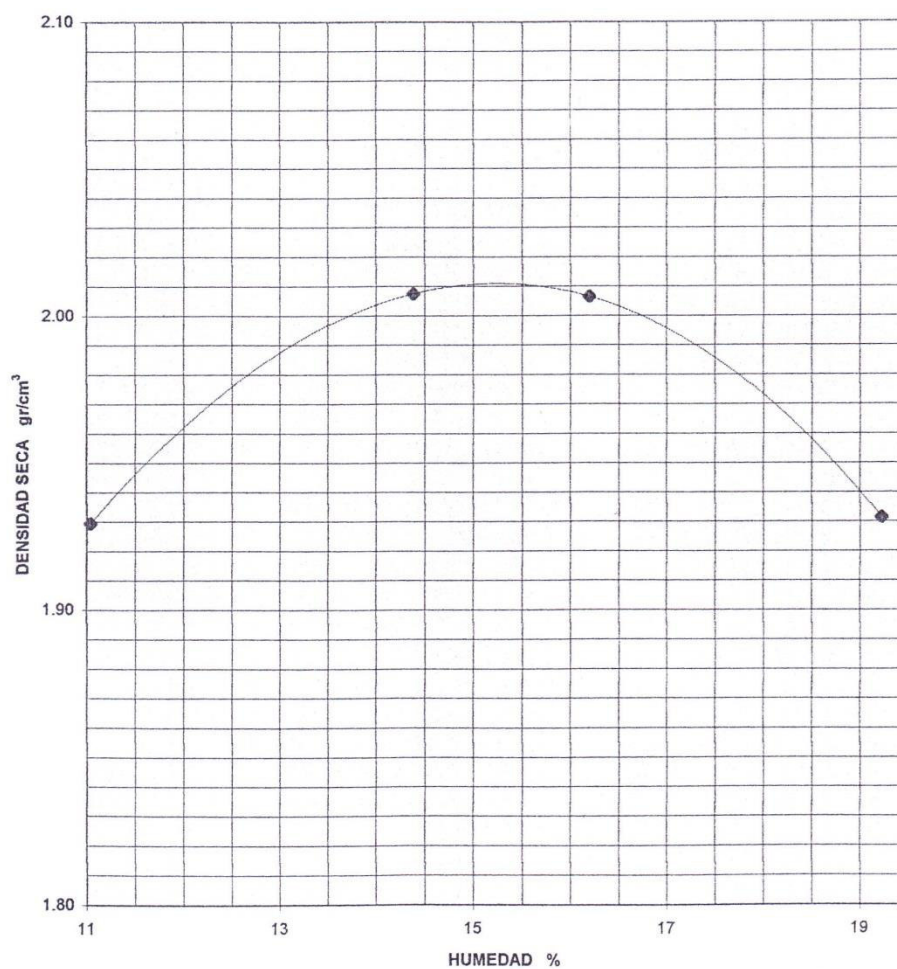
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

IANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAMELICA S.A. (CONENHUA)**
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
MUESTRA : C-5 1.70m-2.50m
FECHA : JUN.2005

PROCTOR MODIFICADO ASTM-D-1557-C

CURVA DENSIDAD - HUMEDAD



M.D.S. = 2.011 gr/cm³
O.C.H. = 15.23 %

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

CESAR VALCA GHEZZI
INGENIERO CIVIL
CIP N° 6314



DE INGENIERIA S.R.L.

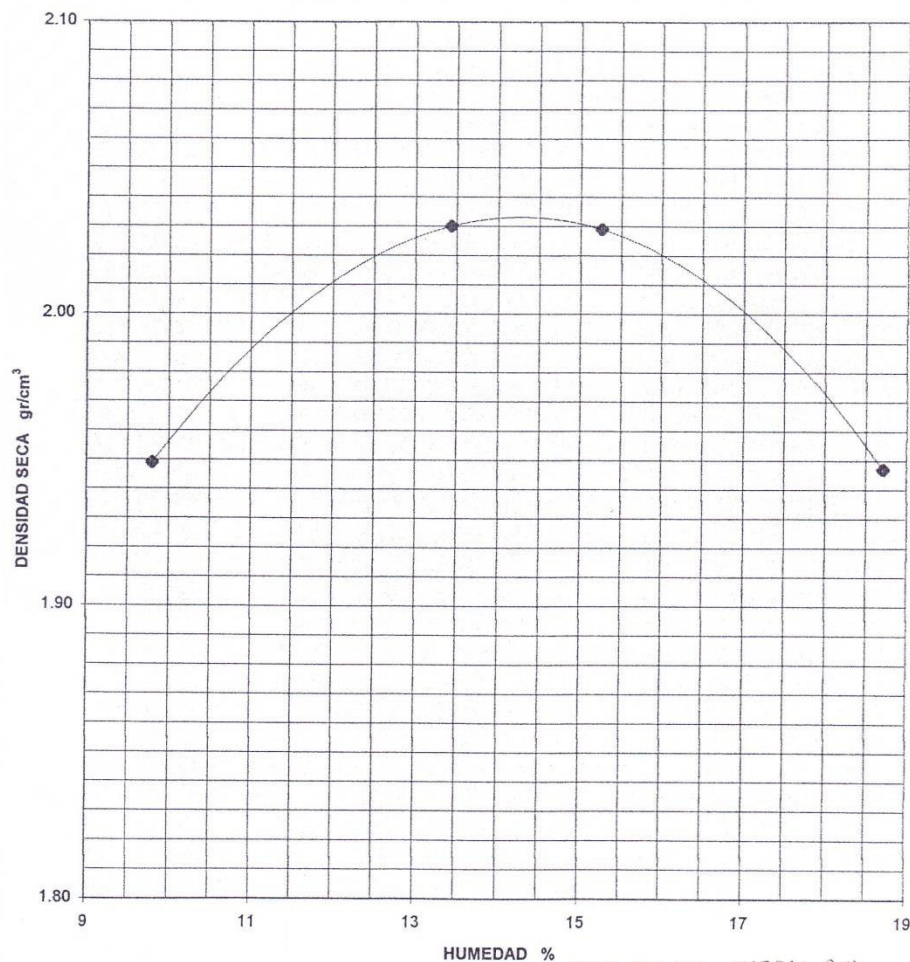
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461 8979 TELEFAX: 461 5253

PROYECTO : LT 66 Kv Huancarama-Chipmo-Poracota
UBICACIÓN : Orcopampa - Región Arequipa
CLIENTE : **CONSORCIO ENERGÉTICO DE HUANCAVELICA S.A. (CONENHUA)**
ESTRUCTURA : Cimentación-Subestación Poracota
MUESTRA : C-5 0.00m-1.30m
FECHA : JUN.2005

PROCTOR MODIFICADO ASTM-D-1557-C

CURVA DENSIDAD - HUMEDAD



M.D.S. = 2.033 gr/cm³
O.C.H. = 14.32 %

EYP DE INGENIERIA S.R.L.

CESAR VALCA GHEZZI
 INGENIERO CIVIL
 C.R. N° 6314

ANEXO: PLANOS GEOLOGICOS

A: PLANO GEOLOGICO PLANTA

B: PERFIL GEOLOGICO

C: PLANO GEOTÉCNICO

